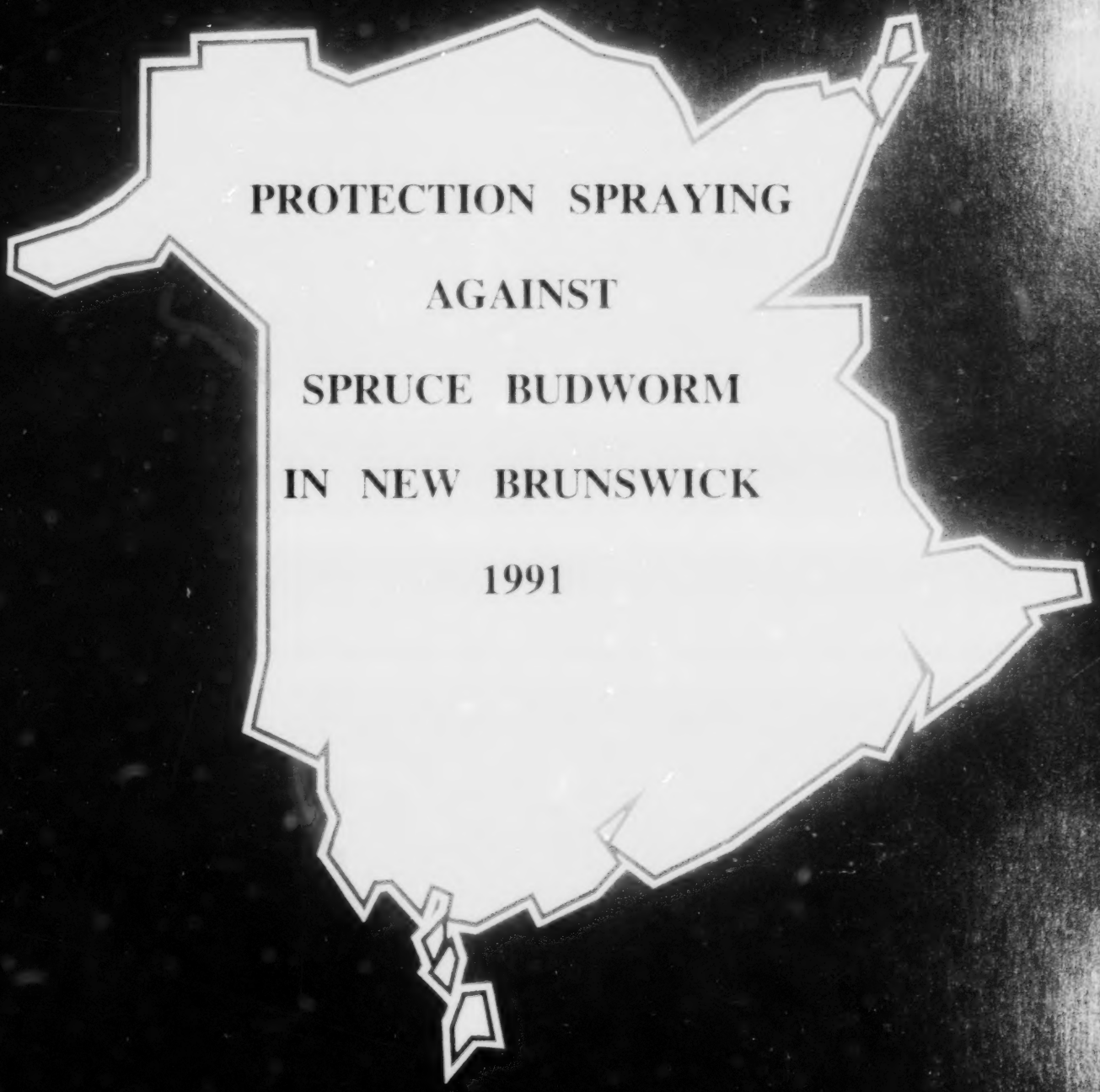
New Nouveau
Brunswick

PROTECTION SPRAYING AGAINST SPRUCE BUDWORM IN NEW BRUNSWICK 1991



Natural Resources & Energy
Ressources naturelles et Énergie

PROTECTION SPRAYING AGAINST SPRUCE BUDWORM

IN NEW BRUNSWICK

1991

Nelson E. Carter and Dan R. Lavigne
Timber Management Branch
Forest Pest Management Section
Department of Natural Resources and Energy
Fredericton, New Brunswick

1992

Hon. Alan Graham
Minister

Mavis Hurley
Deputy Minister

SUMMARY

In 1991, Forest Protection Limited (FPL) applied insecticides aerially to 288 150 ha of spruce budworm (Choristoneura fumiferana (Clem.)) infested forest in New Brunswick. This was a 45.9% decrease from 533 200 ha treated in 1990. In addition, J.D. Irving Limited treated 30 040 ha of its own freehold land, compared to 28 600 ha in 1990.

Of the total area treated by FPL, 61.3% received a double application of chemical insecticide, fenitrothion (Sumithion); 29.0% received a double application of bacterial insecticide Bacillus thuringiensis var. kurstaki (B.t.) in the form of three products, viz. Futura XLV-HP, Dipel 64AF, and Foray 48B; 3.1% received a single application of B.t. (Futura XLV-HP), and 6.6% received one application of fenitrothion followed by one application of B.t.

Spray aircraft included: 2 TBMs equipped with prototype Sergonair constant speed rotary atomizers, 7 TBMs equipped with boom and nozzles, and 8 single-engine small spray planes (SSPs) equipped with Micronair AU4000 rotary atomizers. Mechanical difficulties encountered with pumping B.t. in the TBMs equipped with Sergonairs limited the amount of area treated with this aircraft/insecticide combination and negated opportunities for assessment of this treatment.

Objectives of the program were to keep defoliation of current year's foliage on balsam fir (Abies balsamea (L.) Mill.) to 40% or less, and to 50% or less on red-black spruce (Picea rubens Sarg. - P. mariana (Mill.) B.S.P).

Overall, the protection program was characterized by: 1) one chemical insecticide; (2) three brands of B.t.; (3) some treatments where first application was fenitrothion and second application was B.t.; (4) four types of spray planes; and (5) three types of spray equipment. In total, 17 aircraft/equipment/insecticide "treatment" combinations were sampled. Within many of these combinations, sample sizes were too small to draw firm conclusions about differences in foliage protection between treatments. Consequently, the data were pooled into three main treatments: i) fenitrothion applied twice at 210 g/ha by TBMs equipped with boom and nozzles or Sergonairs or SSPs with Micronairs; ii) Futura XLV-HP or Dipel 64AF applied twice at 15 BIU/ha using SSPs equipped with Micronairs; and iii) a sequential treatment of fenitrothion applied once at 210 g/ha followed days later by an application of Futura XLV-HP or Dipel 64AF at 15 BIU/ha.

Foliage protection results were evaluated based on pre-spray larval populations and current defoliation levels in relation to defoliation objectives. The possible influence of operational del-

ays (i.e. time between block deemed ready for treatment and when treatment was completed) and post-spray weather on foliage protection results were also examined. Deposit, which is a key factor in spray efficacy, is currently not measured operationally. Consequently, foliage protection results reflect what happened, but do not fully explain why.

Data analyses indicated overall benefits due to treatment and showed differences in levels of protection afforded by each. Trees in fenitrothion treated transects had better foliage protection than trees in either the B.t. or sequential chemical plus B.t. treatment. Foliage protection results in the sequential treatment appeared worst overall, but showed promise when the data were stratified by delays. The percentage of sampled balsam fir trees meeting the defoliation objective was 64% for fenitrothion, 45% for B.t., and 28% for the sequential fenitrothion plus B.t. treatment. In contrast, only 20% of the fir trees in untreated transects had defoliation within the objective.

Regression analysis for the sequential treatment did not show a sufficient relationship between final defoliation and pre-spray larval densities. Regressions for B.t. and fenitrothion treatments indicated that defoliation exceeded the foliage protection objective at larval densities greater than 0.16 and 0.21 larvae/bud, respectively. Overall means of final current year's defoliation were 35.3%, 47.7% and 68.2% for fenitrothion, B.t., and sequential fenitrothion plus B.t. treatment, respectively, compared to 72.2% in the untreated check plots. Mean larval mortality due to insecticide was 63% for fenitrothion, 55% for B.t. and 55% for the sequential treatment.

When the data were stratified on the basis of "good" or "bad" (ca. 50 mm rain) 24-hour post-spray weather, differences were apparent. Foliage protection was better with "good" weather vs. "bad" weather data for both the fenitrothion and B.t. treatments - the "good" weather fenitrothion results being best overall. It was surmised that delays between applications, the single mode of action of B.t., or deposit of insufficient quantity or quality were possible causes of lower efficacy in B.t. plots under "good" weather. These factors were apparently not as detrimental to fenitrothion under "good" weather conditions.

After removing the "bad" weather data, the combined effect of delays and larval mortality were investigated. Fourteen and fifteen days were required for completion of the two applications of fenitrothion and B.t., respectively. This corresponded to peak third to peak fifth instar larval development. In general, the data suggested that acceptable levels of protection could occur in this time period provided larval mortality was $\geq$ 50% for low and moderate populations or $\geq$ 75% for high and extreme populations. Exceptions probably occur due to sub-optimal effects from either or both of the two sprays. The likelihood of success was greater with

fenitrothion since larval mortality ≥ 50% or ≥ 75% occurred more frequently than with B.t.

For the sequential fenitrothion plus B.t. treatment, delays before applying B.t. or unknown deposits with one or both applications appeared to impair the overall success of this combination. Acceptable results occurred when both treatments occurred within 7 days of block opening, and positive results were seen within 11 days. At 17 days, however, results were not successful. This treatment combination warrants further trials and investigations as this may lead to an acceptable integrated approach to using these two insecticides.

Results with Foray 48B were similar to Futura XLV-HP and Dipel 64AF, but only one 800-ha block was treated and sampling was limited.

The aerial survey of defoliation detected 35 000 ha of light, 132 000 ha of moderate, and 134 000 ha of severe defoliation. Approximately 65.4% of the provincial moderate and severe defoliation occurred outside treatment areas. Within the moderate to high population forecast for 1991, 28.9% of the fenitrothion treated area, 41.9% of the B.t. treated area, and 28.8% of the sequential fenitrothion plus B.t. treated area had moderate and severe defoliation. Overall, 31.9% of the treated area had moderate and severe defoliation.

For 1992, it is forecast that moderate to high populations will occur over 0.62 million ha. Areas with variable populations last year either collapsed or became more uniform at slightly higher populations this year. The area of moderate to high populations decreased by 20% from last year and the total infestation is 38% lower. Infested areas will be primarily in northern New Brunswick with a few large patches elsewhere within the province. In the southern half of the province, except for an isolated area northwest of Moncton, no significant damage is expected, continuing the low trend of the past several years.

ACKNOWLEDGEMENTS

To properly time and assess a large-scale spray program requires specialized knowledge and a sense of dedication and pride in one's work. Data and information contained in this report are directly related to conscientious efforts of the following staff within DNRE: Mr. Lester Hartling, Mr. Wilf Patterson, Ms. Janet Proude, Mr. Danny O'Shea, Mr. Ross Farquhar, Mr. Robert MacGregor, Mr. Peter MacNutt, Mr. Greg Simpson, and Mr. Carroll Cameron. Their hard work and the assistance of numerous summer staff is greatly appreciated.

Editorial comments and suggestions provided by Mr. L Hartling (DNRE); Mr. D. Davies and Mr. P. Amirault (Forest Protection Ltd.); Dr. D. Quiring (University of New Brunswick); and Mr. E. Kettela and Dr. J. Sweeney (Forestry Canada - Maritimes) on an earlier version of this report are gratefully acknowledged.

Special appreciation is also due to Mrs. Janet Lynch for typing several drafts and the final manuscript.

TABLE OF CONTENTS

	Page
SUMMARY	i
ACKNOWLEDGEMENTS	iv
LIST OF TABLES	vi
LIST OF FIGURES	vii
INTRODUCTION	
1. TREAMENT INFORMATION	
1.1 Area Treated	1
1.2 Insecticides	1
1.3 Spray Aircraft/Equipment/Insecticide	1
1.4 Operational Logistics	4
2. SURVEYS AND ASSESSMENTS	
2.1 Development Sampling - Biological Criteria for Timing Insecticide Applications	5
2.2 Pre-spray Population Sampling	6
2.3 Post-spray Development Sampling	6
2.4 Defoliation Surveys	7
2.5 L2 Survey	7
3. OVERVIEW OF BUDWORM DAMAGE IN 1991	
3.1 Aerial Survey of Defoliation	8
4. TREATMENT EFFICACY	
4.1 Objectives of Protection	10
4.2 Factors Affecting Foliage Protection Results	10
4.3 Treatment Results	17
4.3.1 Overview	17
4.3.2 Effect of post-spray weather	21
4.3.3 Effect of delays	24
4.3.4 Sequential fenitrothion plus B.t.	31
4.3.5 Foray 48B treatment	32
4.3.6 Aerial assessment	32
5. INFESTATION FORECAST FOR 1992	33
6. CONCLUSIONS	
6.1 Area Treated	36
6.2 Effectiveness of Program	36
6.3 Forecast	37
REFERENCES	39
APPENDIX	40

LIST OF TABLES

		Page
Table 1.	Treatments applied by Forest Protection Limited for protection against spruce budworm in New Brunswick in 1991. (Does not include J.D. Irving Ltd. program).	2
Table 2.	Areas of defoliation by spruce budworm in New Brunswick from 1975 to 1991.	8
Table 3.	Larval and host-tree shoot development (recorded at one or several development plots) at the time blocks were opened for treatment and completion of all applications.	12
Table 4.	Summary of daily maximum and minimum temperatures (°C) at individual weather stations (Dickison, 1991).	15
Table 5.	Summary of daily total rainfall (mm) at individual weather stations (Dickison, 1991).	15
Table 6.	Mean larval densities, larval mortality, and current defoliation on balsam fir trees from treated and untreated transects within the M-H forecast area in northern N.B. in 1991.	19
Table 7.	Means, standard errors and non-parametric (Kruskal-Wallis; Wilcoxon two-sample test ($P<0.05$)) results for treatments within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.	22
Table 8.	Results for sequential fenitrothion plus B.t. treatment based on delays between opening blocks for treatment and completion of second application.	32
Table 9.	Summary of areas of moderate and severe defoliation within treatments in New Brunswick in 1991.	33
Table 10.	Comparison of spruce budworm forecast infestation levels from 1981 to 1991.	33
Table 11.	Comparison of areas (ha) forecast in year N (1982-1991) to have moderate and high spruce budworm populations in year N+1.	34

LIST OF FIGURES

		Page
Figure 1.	Areas treated by Forest Protection Limited for protection against spruce budworm in New Brunswick in 1991. (Does not include J. D. Irving Ltd. program).	3
Figure 2.	Areas of light, moderate and severe defoliation caused by spruce budworm in New Brunswick in 1991.	9
Figure 3.	Areas forecast to have variable (low to high) and moderate to high spruce budworm populations in New Brunswick in 1991 (Carter and Lavigne, 1991).	11
Figure 4.	Location of weather monitoring stations (P1-P4; S1-S3) in relation to areas treated against spruce budworm in New Brunswick in 1991.	14
Figure 5.	Distribution of pre-spray larval populations in treated and untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.	16
Figure 6.	Relationships between pre-spray larval populations and percent larval mortality (A) and percent current defoliation (B) in untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.	18
Figure 7.	Relationships between pre-spray larval populations and percent current defoliation in untreated and treated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.	20
Figure 8.	Distribution of percent current defoliation levels within population classes in treated and untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.	23
Figure 9.	Distribution of percent current defoliation levels within population classes in fenitrothion-treated plots with "good" and "bad" post-spray weather (see text).	25
Figure 10.	Distribution of percent current defoliation levels within population classes in B.t. treated plots with "good" and "bad" post-spray weather (see text).	26
Figure 11.	Relationships between pre-spray larval population and percent current defoliation in "good" and "bad" post-spray weather plots treated with fenitrothion (see text).	27

LIST OF FIGURES (cont'd)

		Page
Figure 12.	Relationships between pre-spray larval population and percent current defoliation in "good" and "bad" post-spray weather plots treated with B.t. (see text).	28
Figure 13.	Relationships between defoliation, delays, and corrected mortality for fenitrothion and B.t. treatments in 1991.	29
Figure 14.	Areas forecast to have moderate to high spruce budworm populations in New Brunswick in 1992.	35

PROTECTION SPRAYING AGAINST SPRUCE BUDWORM IN NEW BRUNSWICK 1991

In 1991, selected spruce budworm infested forest stands in New Brunswick were aerially treated for foliage protection. Both chemical and biological insecticides were used. Operational information may be found in the "1991 PROGRAM REPORT" prepared by Forest Protection Limited (Davies, 1991).

This report summarizes the protection program, outlines operational surveys conducted, and provides analyses of levels of foliage protection achieved. A forecast of the expected spruce budworm infestation for 1992 is also presented.

1. TREATMENT INFORMATION

1.1 Area Treated

In 1991, insecticide was aerially applied in New Brunswick to 288 150 ha of spruce budworm infested forest land (Table 1; Figure 1). This was 45.9% less than the 533 200 ha treated in 1990 (Carter and Lavigne, 1991). Spray logistics were planned and implemented by Forest Protection Limited (FPL). In addition, J.D. Irving Ltd. sprayed 30 040 ha of its own freehold land (Brunsdon, J.D.I. Ltd. pers. comm.) compared to 28 600 ha in 1990.

1.2 Insecticides

Insecticides used in 1991 (Table 1) included: the chemical insecticide fenitrothion (Sumithion), and three brands of biological insecticide containing Bacillus thuringiensis var. kurstaki (B.t.) i.e. Futura XLV-HP, Dipel 64AF, and Foray 48B. Various application rates were used (Table 1). Approximately 61.3% of the area received a double application of fenitrothion, 29.0% received a double application of B.t., 3.1% received a single application of B.t. (Futura XLV-HP), and the remaining 6.6% received a single application of fenitrothion followed by a single application of B.t.

1.3 Spray Aircraft/Equipment/Insecticide

Spray aircraft included: 2 TBMs[a] equipped with prototype electrically-driven rotary atomizers called Sergonairs; 7 TBMs equipped with boom and nozzles; and 8 single-engine small spray planes (SSPs)[b] equipped with wind-driven Micronair AU4000 rotary atomizers. For SSPs, the "enhanced atomization technique" was utilized whereby the flowrate through each Micronair AU4000 rotary atomizer was calibrated to approximately 2 L/min/unit to produce finer spray droplets. Coupled with the potency (BIU/L) of the B.t. products this enabled SSPs to spray B.t. undiluted at half the normal rate (i.e. 15 rather than 30 BIU/ha) in reduced total volume/ha. The Sergonairs allowed the application of insecticide at ultra ultra low volumes (0.4 L/ha) similar to the volume applied

---

[a] TBM - Grumman Avenger aircraft (Torpedo Bomber Medium range).
[b] SSP - Small spray planes = AgCat 600, Thrush 600, Cessna 188.

Table 1. Treatments applied by Forest Protection Limited for protection against spruce budworm in New Brunswick in 1991. (Does not include J.D. Irving Ltd. program).

Treatment[a]	Total Area (ha x 10^3)	Percent of Total Area	Aircraft Type[b]
One Application - Biological			
30 BIU FXLV-HP/0.90 L/ha	9.0	(3.1)	TBM/b
Two Applications - Biological			
15 BIU FXLV-HP/0.45 L/ha + 15 BIU FXLV-HP/0.45 L/ha	72.0	(25.0)	SSP,TBM/s
15 BIU D-64AF/0.89 L/ha + 15 BIU D-64AF/0.89 L/ha	10.6	(3.7)	SSP
15 BIU F-48B/1.18 L/ha + 15 BIU F-48B/1.18 L/ha	0.8	(0.3)	SSP
SUB-TOTAL:	83.4	(29.0)	
SUB-TOTAL BIOLOGICAL ONLY:	92.4	(32.1)	
Two Applications - Chemical			
210 g Fen/1.46 L/ha + 210 g Fen/1.46 L/ha	141.2	(49.0)	TBM/b
210 g Fen/0.44 L/ha + 210 g Fen/0.44 L/ha	27.9	(9.7)	SSP, TBM/s
210 g Fen/1.46 L/ha + 210 g Fen/0.44 L/ha	7.6	(2.6)	TBM/b, SSP
SUB-TOTAL CHEMICAL ONLY:	176.7	(61.3)	
One Appl. Chemical + One Appl. Biological			
210 g Fen/1.46 L/ha + 15 BIU FXLV-HP/0.45 L/ha	10.0	(3.5)	TBM/b,SSP
210 g Fen/0.44 L/ha + 15 BIU FXLV-HP/0.45 L/ha	8.4	(2.9)	TBM/s,SSP
210 g Fen./1.46 L/ha + 15 BIU D-64AF/1.18 L/ha	0.7	(0.2)	TBM/b,SSP
SUB-TOTAL CHEMICAL + BIOLOGICAL:	19.1	(6.6)	
GRAND TOTAL:	288.2	(100.0)	

a. FXLV-HP = Futura XLV HP (33.0 BIU/L)
D-64AF = Dipel 64AF (16.9 BIU/L)
F-48B = Foray 48B (12.7 BIU/L)
Fen. = Fenitrothion

b. TBM/b = TBM with boom + nozzle
TBM/s = TBM with Sergeanir
SSP = Small spray planes with Micronair AU4000

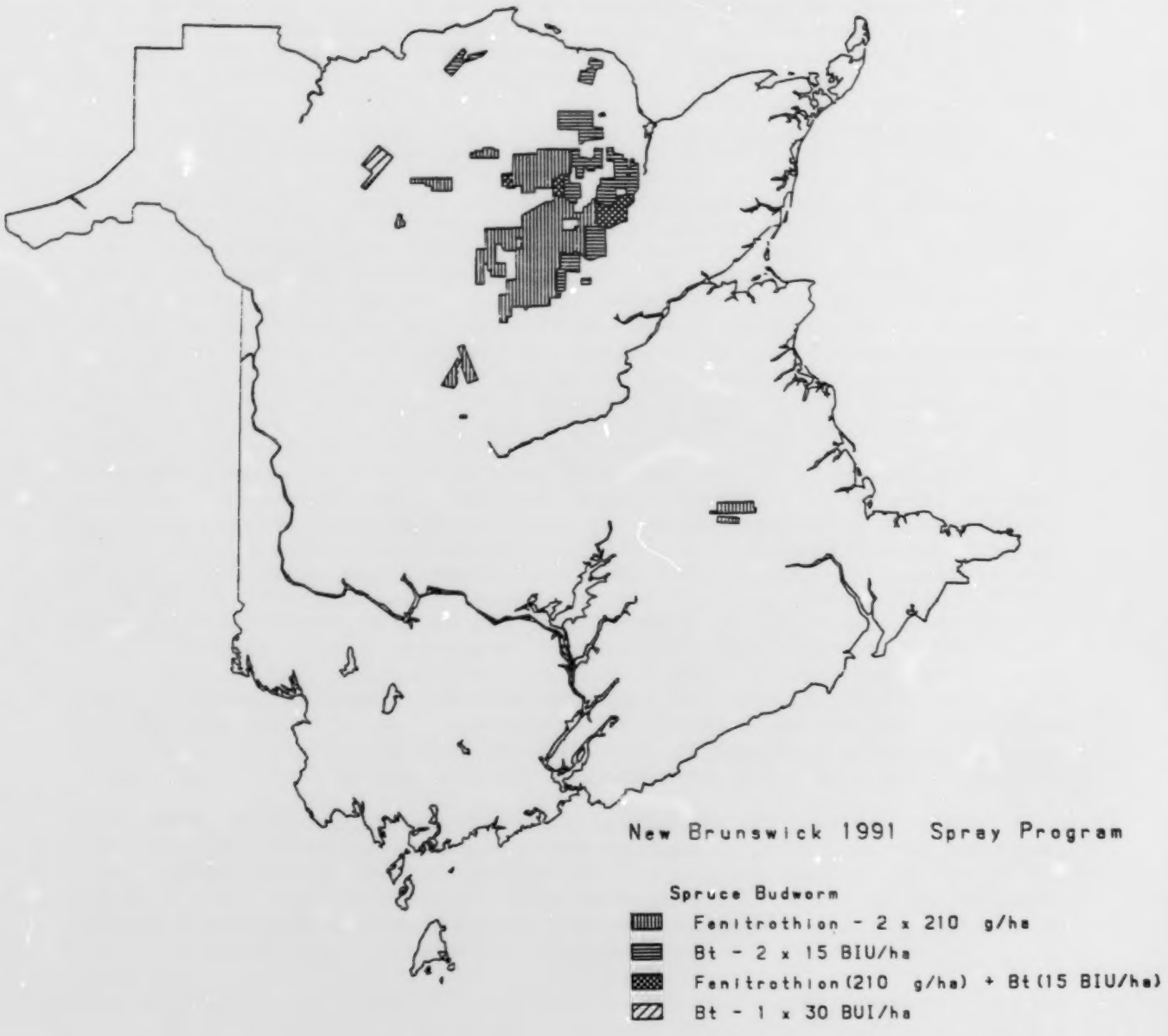


Figure 1. **Areas sprayed by Forest Protection Limited for protection against spruce budworm in New Brunswick in 1991. (Does not include J.D. Irving Ltd. program).**

by SSPs using Micronair AU4000s but with a more constant and smaller droplet spectrum because of their higher and more constant rotational speed.

Of the total area treated: 52.8% was fenitrothion applied by TBMs equipped with boom and nozzles; 2.6% was fenitrothion applied by TBMs equipped with Sergonairs; 10.2% was fenitrothion applied by SSPs; 1.6% was B.t. applied by TBMs equipped with boom and nozzles; 0.7% was B.t. applied by TBMs equipped with Sergonairs; and 32.1% was B.t. applied by SSPs.

Overall, the protection program was characterized by the use of: 1) four different types of aircraft; 2) three types of spray equipment; 3) one chemical insecticide; 4) three brands of biological insecticide (B.t.); and 5) treatments where the first application was fenitrothion and the second application was B.t. As well, the aircraft used to apply first application were not necessarily the same ones used to apply the second application to the same area. Within the areas assessed, a total of 17 aircraft/equipment/insectcide combinations occured.

1.4 Operational Logistics

Maximum and minimum temperatures from various weather stations around the province were used by the Department of Natural Resources and Energy (DNRE) to monitor regional accumulation of degree days (threshold = 3°C) commencing April 1st. In addition, development of larvae and shoots of host-trees were assessed by DNRE field crews in and around areas scheduled for treatment. Using this information, DNRE advised FPL when treatment blocks were biologically ready for spraying to begin.

The first blocks to be treated with chemical or B.t. were declared biologically ready for treatment (i.e. opened) the morning of May 28th and evening of May 30th, respectively. By June 8th all blocks were ready for treatment.

Poor weather delayed the first spray of chemical until the morning of May 30th. B.t. spraying commenced the evening of May 30th. All first applications of fenitrothion and B.t. were completed by June 6th and June 9th, respectively. Final applications of both insecticides finished the morning of June 16th.

2. SURVEYS AND ASSESSMENTS

Surveys used to time treatment applications and assess foliage protection results were similar to those reported for previous protection programs against spruce budworm in New Brunswick (Carter, 1988; 1990).

2.1 Development Sampling - Biological Criteria for Timing Insecticide Applications

Prior to treatment, sample locations were established in budworm susceptible stands in or near designated blocks. At each location 3 to 5 host trees were routinely sampled (one 45-cm mid-crown branch/tree) to assess insect and host-tree shoot development.

Concurrently, a trained observer made low-level aerial reconnaissance flights to observe the progression of shoot flushing on balsam fir and other tree species within areas scheduled for treatment. Aerial and ground observations were jointly evaluated to determine when blocks were biologically ready (i.e. opened) for treatment.

As in previous years, areas to be treated with fenitrothion were considered biologically ready when samples of balsam fir met the following criteria:

- majority of budworm in third instar; all budworm larvae feeding in the shoots or flowers; and the shoots in Class 3 and 4 (i.e. needles exposed on new shoots, or buds starting to flare) (Dorais and Kettela, 1982);

and in blocks having a significant composition of red-black spruce, when samples of spruce met the following criteria:

- majority of budworm in third instar, all larvae migrated from mines in old needles and silking outside buds, or beginning to tunnel into them.

Areas to be treated with B.t. were considered biologically ready for treatment when balsam fir samples met the following criteria:

- majority of budworm in or beyond third instar; budworm larvae feeding in the shoots or flowers; and the shoots in Class 4 and 5 (i.e. majority of shoots starting to flare, or fully flushed) (Dorais and Kettela, 1982).

In 1991, 137 development locations were established and a total of 493 development samples taken to time spray applications.

2.2 Pre-spray Population Sampling

After 100% larval emergence and prior to spraying, plot locations were established to assess pre-spray larval populations. Plots were distributed throughout treated and untreated check areas with typically 5 trees/plot (a few plots contained 10 trees/plot). One mid-crown 45-cm branch sample was collected from each tree. Pre-spray sampling was conducted from May 21st to May 27th. Larval index[a] at the time was between 2.5 and 3.0.

In a laboratory in Fredericton, pre-spray larval populations were determined by counting the number of larvae and vegetative buds or shoots on each branch sample. Populations could then be expressed as either the number of larvae/branch or number of larvae/bud for evaluating foliage protection as a function of pre-spray larval densities.

Supplementary pre-spray sampling and larval counts were also conducted in the field in a number of blocks detected during development sampling as having low larval populations. Such information is used to delete areas of proposed spraying based on low larval counts. In 1991, sampling failed to detect any areas with larval numbers sufficiently low for cancellation of proposed spraying. Data were used, however, to opt for a single application of Futura XLV-HP at 30 BIU/ha to a 9 000 ha block when problems with the pumping systems in TBMs with Sergonairs indicated the 2x15 BIU/ha treatment would not be feasible with these aircraft.

2.3 Post-spray Development Sampling

Sampling continued after spraying had commenced to monitor insect numbers and development (larval to pupal stage), and assess defoliation of current year's needles. Host trees were sampled at previously established development locations, as well as new locations.

Post-spray larval counts and development information was used to decide whether the second spray application was needed, or whether treatment should be discontinued because of low larval counts, or advanced larval development and feeding damage. Based on information collected during the post-spray sampling period, no scheduled second applications were cancelled.

Information on pupation and cessation of feeding was used to determine when to commence aerial and ground surveys of tree defoliation.

---

[a] Larval index = ((no. of 2nd instar larvae X 2)+(no. of 3rd instar larvae X 3)+....+(no. of pupae X 7))/ total no. of individuals.

2.4 Defoliation Surveys

After aerial spraying and larval feeding had finished, the extent and severity of defoliation throughout the Province was surveyed from the air. Flying east-west flight lines approximately 5-km apart at an altitude of 150-300 m, trained aerial observers, in Cessna 172 type aircraft equipped with Loran C navigation, rated and sketched areas of light, moderate and severe defoliation on 1 cm = 1.9 km (1 inch = 3 mile) maps. No attempt was made to assess aerial defoliation on a block-specific basis.

Final percent defoliation and budworm survival in treated and untreated plots were determined using a ground survey. Larval index at the time of sampling was approximately 6.8 to 7.0 (i.e. predominantly pre-pupae and pupae). One 45-cm mid-crown branch was collected from the same trees sampled during the pre-spray larval population survey. In the field, the number of surviving insects per branch were counted. In the laboratory, tree defoliation was rated (Fettes, 1950) by estimating the amount of needle loss on 50 current year's shoots per branch. If a branch had fewer than 50 current shoots, the balance were assessed from a second branch from the same tree.

2.5 L2 Survey

Since 1985, the over-wintering larval or L2 survey has been adopted as the method of forecasting the distribution and intensity of budworm infestation for the ensuing year. Typically, initial and supplementary L2 surveys are conducted. The initial L2 survey (about 1100 - 1500 sample locations) is used to generate a forecast map used for selecting areas for protection. This forecast is supplemented over the winter months with information from several hundred additional locations sampled by DNRE and forest industry. During both surveys, standard 75-cm mid-crown branches are collected from host trees in budworm susceptible stands throughout the Province. In the laboratory, these branches are subsequently processed to determine the mean number of over-wintering (L2) larvae per branch. Densities of over-wintering larvae were used to forecast locations of low, moderate, high, or extreme populations (Dorais and Kettela, 1982).

Using maps (1:250 000) of results from the initial L2 survey, areas with consistent numbers of sample locations containing moderate to extreme populations were hand contoured. Areas which lacked consistent populations, i.e. contained a mixture of sample locations ranging from low to extreme populations, would also be hand contoured and classed as areas of variable populations. No such areas were identified for 1992.

3. OVERVIEW OF BUDWORM DAMAGE IN 1991

3.1 Aerial Survey of Defoliation[a]

Following several days of preliminary aerial reconnaissance flights, the aerial survey commenced on July 3rd and was completed on July 5th. Visibility was good on all 3 days. One supplementary reconnaissance flight on July 16th failed to detect new areas of defoliation.

The aerial survey detected 35 000 ha of light, 132 000 ha of moderate, and 134 000 ha of severe defoliation (Figure 2). The combined area of moderate and severe defoliation was 12% more than last year (Table 2) due primarily to a 47% increase in area of severe defoliation. A review of records determined this year's area of moderate and severe defoliation to be the second lowest since 1967. In fact, the area of defoliation has been less than that of 1991 only five times since 1949.

Table 2. Area of defoliation by spruce budworm in New Brunswick from 1975 to 1991.

	DEFOLIATION CATEGORY (ha x 10^3)		
Year[a]	Light	Moderate & Severe	Totals
1975	820	3 567	4 387
1976	192	404	596
1977	123	481	604
1978	141	669	810
1979	105	1 320	1 425
1980	176	673	849
1981	135	1 221	1 356
1982	185	1 202	1 387
1983	301	2 028	2 329
1984[b]	-	730	730
1985[b]	-	1 071	1 071
1986	160	927	1 087
1987	88	430	518
1988	43	500	543
1989	67	396	463
1990	60	237	297
1991	35	266	301

[a] Data from 1975 to 1983 from Kettela (1983), balance from DNRE files.

[b] Light defoliation not recorded.

[a] The aerial survey was conducted solely by DNRE in 1991 as Forestry Canada-Maritimes terminated their involvement in this survey.

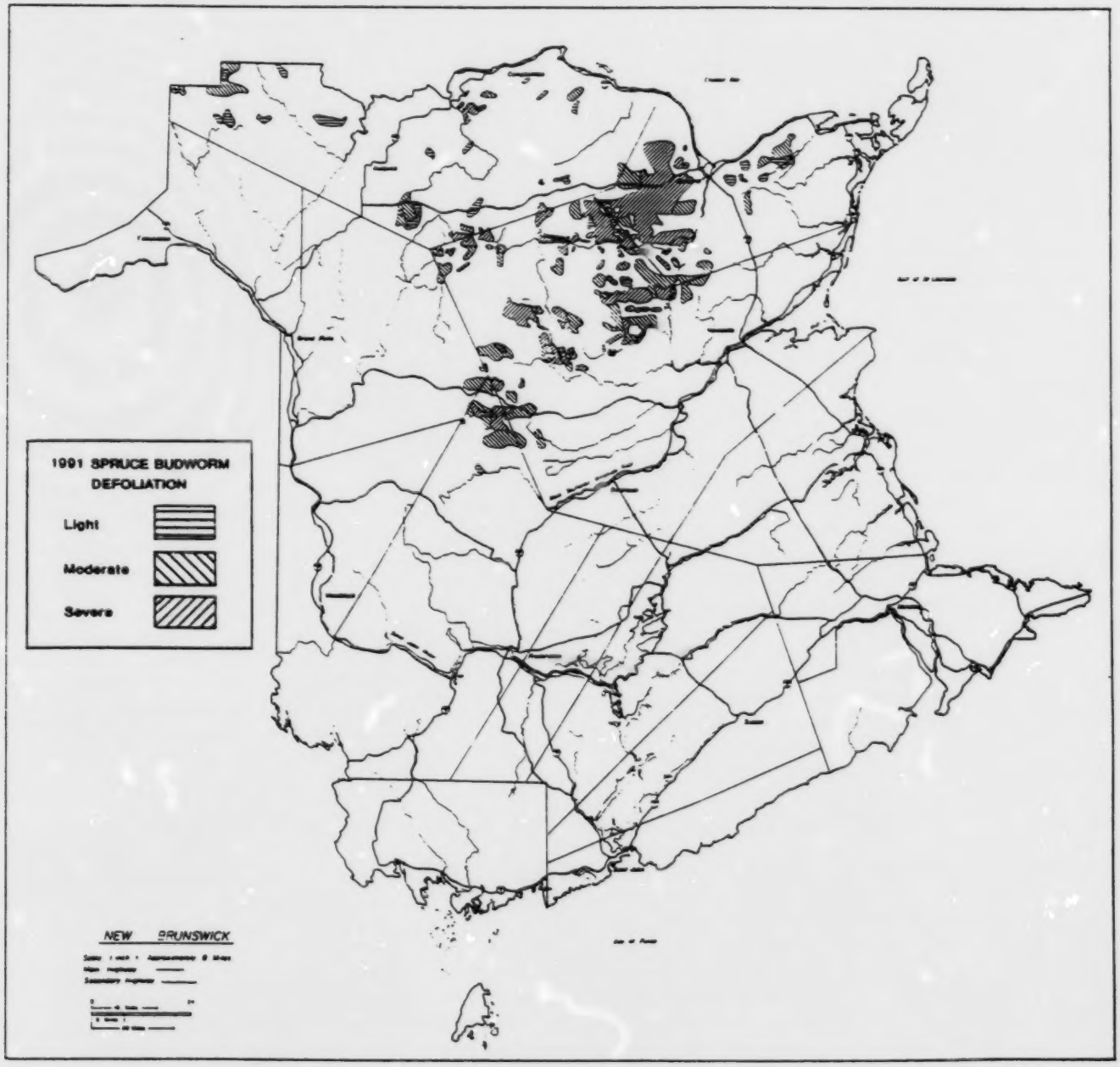


Figure 2. Areas of light, moderate and severe defoliation caused by spruce budworm in New Brunswick in 1991.

Most (68.2%) of the moderate and severe defoliation was detected within the forecasted area of moderate to high populations (Figure 3), but 12.4% of the total moderate and severe defoliation was found within the variable forecast. Only 19.4% of the detected moderate to severe defoliation was outside the forecast. Patches of predominantly light defoliation were also detected in northern and central portions of the Province. Southern, western and eastern portions of the Province remained relatively undamaged.

4. TREATMENT EFFICACY

4.1 Objectives of Protection

The objective of the program is "foliage protection" intended to minimize expected defoliation on host trees and prevent tree mortality. For mature and over-mature trees, the objective is to keep defoliation of current year's needles on balsam fir to 40% or less, and to 50% or less on red-black spruce. In plantations or thinned stands, the objective is to keep defoliation to 20% or less on host trees. This higher foliage protection objective is intended to facilitate volume increment and ensure the expected contributions of these stands to the future wood supply.

When pre-spray populations are very high or extreme, damage often exceeds desired foliage protection objectives. Nevertheless, in such cases, a protection program is still considered successful if a complement of vegetative buds is retained for the following year. In the absence of protection these vegetative buds would have been destroyed.

4.2 Factors Affecting Foliage Protection Results

Adequate deposit of insecticide in the larval microhabitat and on the foliage prior to extensive feeding is necessary to protect against defoliation. Whereas chemical insecticides have two modes of action and can cause larval mortality by contact or ingestion, B.t. has only one mode of action and must be ingested to be effective. Therefore, an "adequate" deposit (i.e. sufficient numbers of droplets containing a toxic dose) of insecticide at the appropriate time is crucial for desired protection, and weather after application must be conducive to larval activity. Unfortunately, no easily affordable method exists to "blind test" operational spray deposit. Hence, although the recommended spray technology is employed it does not guarantee adequate deposit or

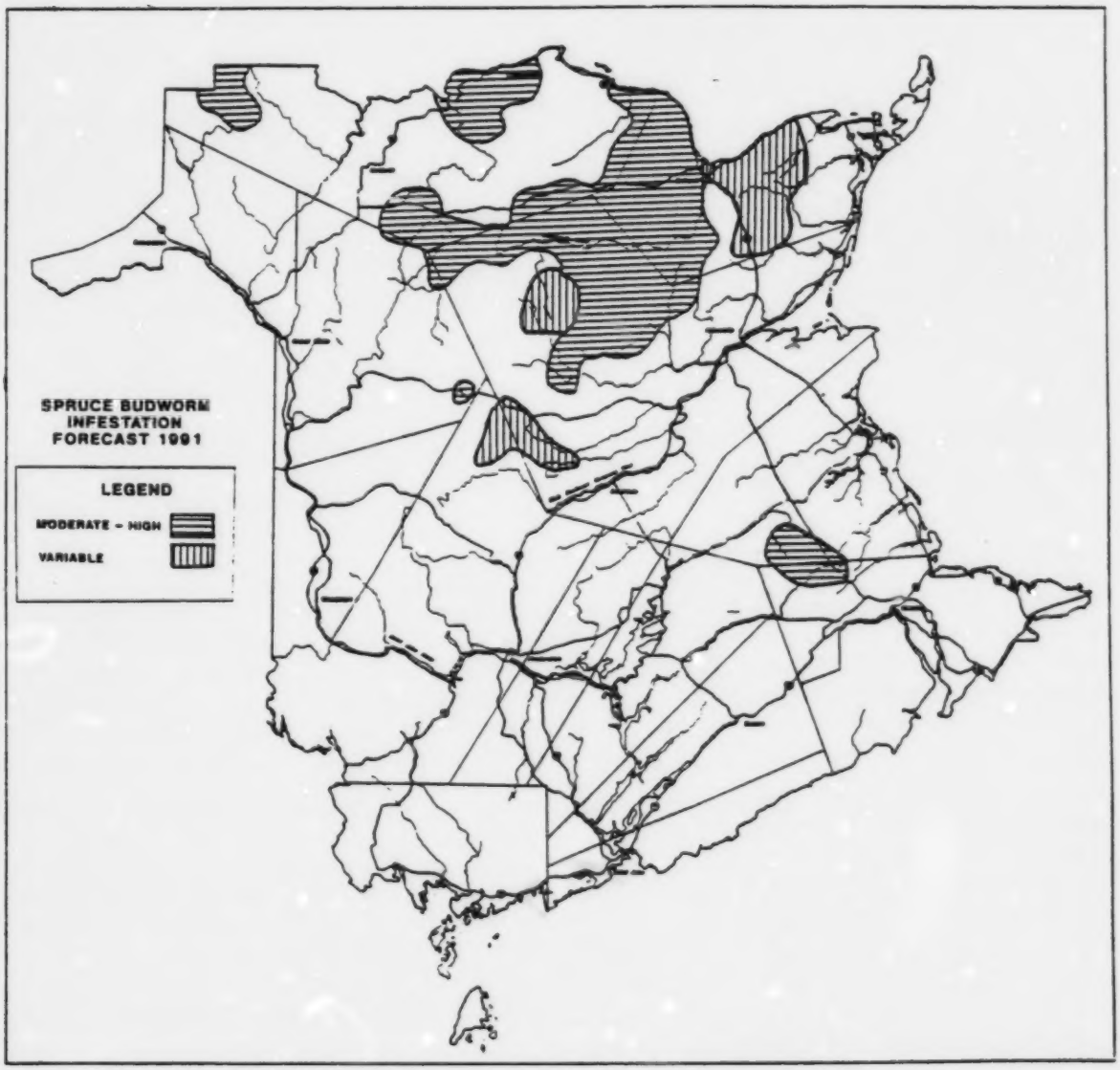


Figure 3. Areas forecast to have variable (low to high) and moderate to high spruce budworm populations in New Brunswick in 1991 (Carter and Lavigne, 1991).

results. Consequently, operational assessments reflect what happened, but do not fully explain why. The amount of foliage protection afforded annually depends on many other factors (Carter, 1988). Currently, DNRE considers three factors when assessing treatments: spray timing, post-spray weather and pre-spray population levels.

- Spray Timing

Larval and host-tree shoot development indices were summarized for each treatment block assessed (Table 3). Results indicate that all blocks were opened in accordance with prescribed timings (Section 2.1), and with the exception of blocks A-20 and A-21 spray applications were predominantly completed between third and fifth instar larval development. Since sixth instar larvae generally do most of the feeding (Koller and Leonard, 1981), the majority of spraying was completed before the onset of major damage.

Table 3. Larval and host-tree shoot development (recorded at one or several development plots) at the time blocks were opened for treatment and completion of all applications.

Block	Block Opening		Completion of all Applications	
	Larval Index	Shoot Index	Larval Index	Shoot Index
Fenitrothion - 2 x 210 g/ha				
A-10	2.8-3.1	3.0-3.9	4.1-4.8	5.0
A-15	3.0-3.3	3.0-3.5	4.0-4.2	5.0
A-19	3.3	3.0	4.9-5.1	5.0
A-20	3.0-3.8	2.7-3.5	4.3-5.5	5.0
Bacillus thuringiensis - 2 x 15 BIU/ha				
A-5	3.0-3.2	3.4-4.2	4.4-4.8	5.0
A-6	3.1-4.0	3.9-4.9	4.3-4.7	5.0
A-7	3.4-3.7	4.3-4.6	4.7	5.0
A-8	3.3-3.4	4.4-4.5	4.5-5.0	5.0
A-18	3.3-3.8	3.7-4.3	4.7	5.0
A-21	3.2-3.3	3.0-4.1	5.3	5.0
A-22	3.6-3.7	4.0-4.1	5.1	5.0
Bacillus thuringiensis - 1 x 30 BIU/ha				
A-13	3.3	4.0	3.3	4.0
Fenitrothion (210 g/ha) + B.t. (15 BIU/ha)				
A-9	3.1	3.2-3.9	3.5-3.6	4.0-4.8
A-17	3.1	3.4-3.9	4.5-5.1	5.0

- Post-spray Weather

Research data collected in 1989 suggested that cold, wet weather, within 24 hours of treatment, impacted negatively on B.t. efficacy by limiting budworm feeding (Kettela, Forestry Canada-Maritimes, pers. comm.) No limits have yet been established for "cold" or "wet" conditions, but extremes can be recognized.

In 1991, seven meterological stations (Figure 4) were established and monitored by Forestry Canada-Maritimes and Atlantic Weather & Environmental Consultants Ltd. (AWEC) as part of a research project to examine key operational factors which affect the efficacy of B.t. (to be reported elsewhere by Forestry Canada - Maritimes). According to AWEC (Dickison, 1991) two types of stations were established. Principal stations, P1 to P4, had tower mounted sensors for monitoring: solar radiation, temperature, relative humidity, wind speed and wind direction; and ground level gauges for monitoring rainfall intensity. At these stations dataloggers were used to interrogate and store data at 12-minute intervals. In contrast, supplementary stations, S1 to S3, utilized instrument shelters with hygrothermographs for monitoring temperature and relative humidity and raingauges for measuring accumulated rainfall. At these stations data were recorded manually or on chart recorders.

During the treatment period (May 30th to June 16th), these stations recorded the occurrence of periods of cool and wet weather (Tables 4, 5). Daily maximum temperatures ranged from 6.3°C to 31.0°C, and the average maximum temperature for the period was 19.9°C. Conversely, daily lows ranged from -5.5°C to 20.4°C with 6.5°C being the average. When compared to 30-year norms[4], maximum and minimum temperatures were below normal for 9 days of the treatment period (Dickison, 1991).

Widespread rainfall occurred three times during the protection program. On June 1st a moderate rainfall of 4.8 to 9.4 mm was recorded. On June 4th a light rainfall of 0.8 to 2.8 mm was recorded. Most notable, however, was a very heavy rainfall which began the evening of June 12th and deposited up to 61.7 mm before stopping early in the morning of June 14th.

- Pre-spray population levels

In treated and untreated areas, a total of 1 648 trees were assessed for pre-spray populations, final post-spray populations, and final percent current defoliation. Pre-spray larval densities in treated and untreated transects covered much the same ranges but were different in distribution (Figure 5). Overall, trees sampled fell within a total of 17 aircraft/equipment/insecticide treatment combinations. Within many of these combinations, however, small sample sizes precluded any reasonable assessment of foliage protection results. For example, mechanical difficulties in pump-

[4] Normals were derived from weather information for the Heath Steele Mines weather station for the period 1951-80.

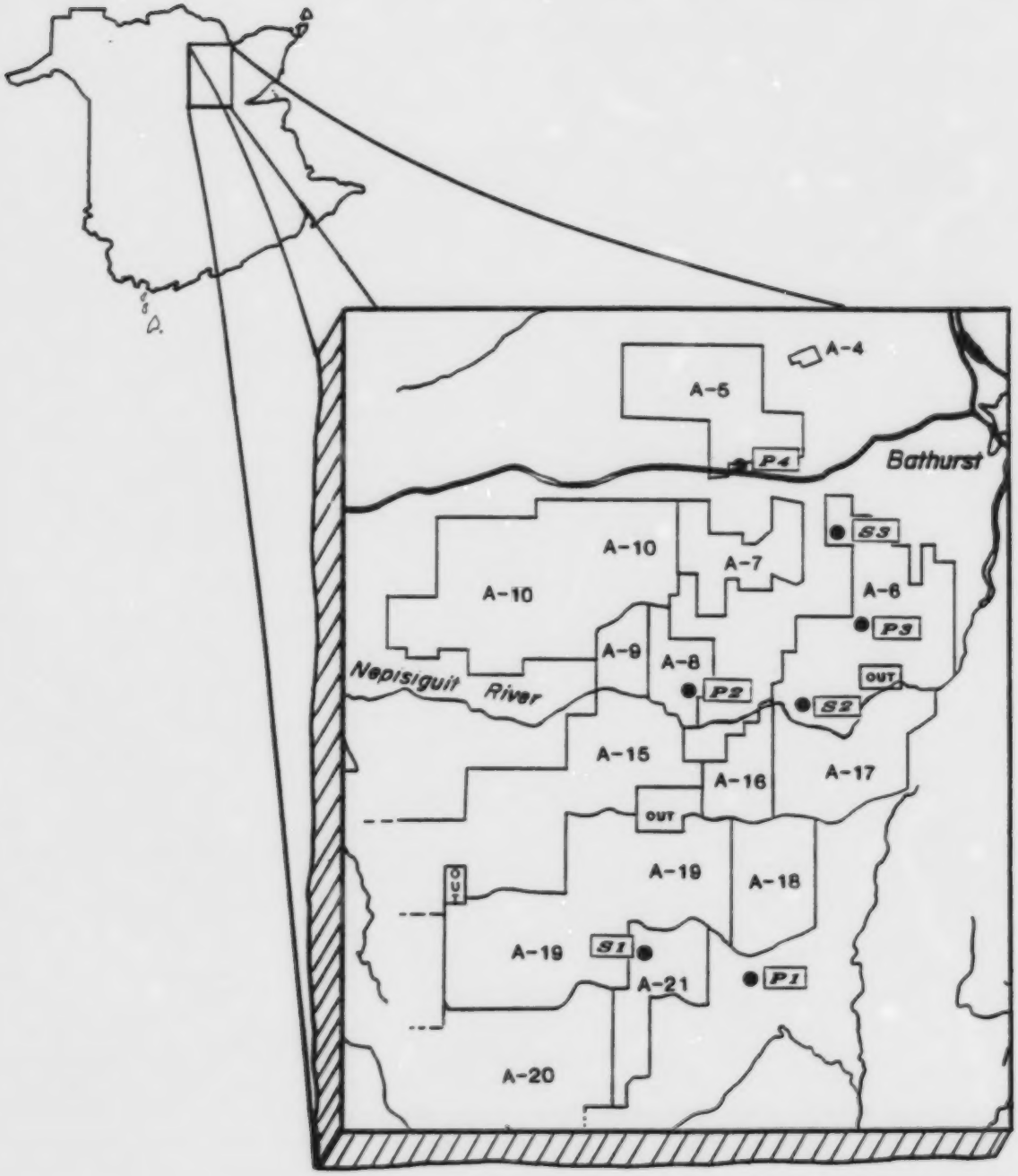


Figure 4. Location of weather monitoring stations (P1-P4; S1-S3) in relation to areas treated against spruce budworm in New Brunswick in 1991.

Table 4. Summary of daily maximum and minimum temperatures (°C) at individual weather stations (Dickison, 1991).

	Station													
	P1		P2		P3		P4		S1		S2		S3	
Date	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)
30 May			4.3	20.5	5.1	20.2	6.1	19.5	3.0	20.3	-5.5	20.5		
31	5.6	13.2	5.9	12.3	4.2	14.1	4.1	13.5	0.8	8.2	-1.1	9.7		
1 June	5.6	11.0	5.1	12.6	5.4	13.5	5.2	13.6	0.0	6.4	-0.5	6.3		
2	6.9	20.2	6.8	17.3	8.8	17.9	7.7	16.9	0.9	19.5	-2.8	17.0		23.3
3	6.3	15.0	6.5	15.5	8.0	14.9	8.4	14.3	6.3	14.9	5.8	14.0	6.0	14.0
4	6.2	14.6	6.4	13.1	5.4	14.2	5.6	13.3	5.5	13.1	4.4	14.4	4.0	13.8
5	5.4	15.8	5.4	15.4	5.9	15.5	5.4	16.2	5.4	15.3	5.8	16.8	4.4	15.2
6	4.4	23.3	5.0	23.6	6.2	23.3	5.9	23.1	5.2	22.7	3.8	23.6	2.1	22.2
7	7.9	30.3	8.5	29.7	11.1	29.5	9.8	28.8	6.5	30.0	5.8	30.0	5.1	
8	5.8	27.2	7.5	23.9	9.5	23.9	6.7	22.5	6.2		7.0	26.0		
9	3.4	24.2	4.1	22.5	5.9	22.4	3.8	21.5	4.0	23.9	0.4	23.0		20.4
10	12.4	27.9	15.7	29.2	14.0	29.9	13.4	28.9	14.5	30.4	10.9	29.9	10.8	29.1
11	20.2	30.9	18.8	29.6	20.4	29.8	16.6	27.6	18.5	31.0	17.3	30.2	16.6	29.0
12	13.7	25.7	13.3	23.6	12.8	24.2	12.4	22.9	13.6	24.8	13.8	26.0	11.8	23.7
13	5.6	13.7	5.3	13.1	6.1	12.8	5.7	12.3	4.8	13.7	6.1	13.8	4.3	11.8
14	3.0	14.0	4.4		4.4		4.3	12.1	3.7	12.2	4.8	13.1	3.2	11.2
15	1.7	21.0					2.4	19.5	2.0	20.4	0.0	21.2	1.8	19.6
16	0.1	24.1					2.5	21.5	2.3	23.0	-0.3	23.0	-0.3	21.2
17	4.0	24.1					3.5	25.1	6.0	23.6	1.7	24.7	1.1	22.8
18	8.3	30.6					13.7	30.1	10.4	30.1	9.0	29.8	10.2	29.3

Table 5. Summary of daily total rainfall (mm) at individual weather stations (Dickison, 1991).

	Station						
Date	P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3
30 May	0	0	0.3	0	C*	C	C
31	0.5	0.8	0	0	C	C	C
1 June	9.4	5.8	4.8	7.1	C	C	C
2	0	0	0	0	11.8**	8.9**	8.2**
3	0	0	0	0	C	C	C
4	2.8	1.0	0.8	2.0	C	C	C
5	0	0.3	0.2	0	C	C	C
6	0	0	0	0	0.4**	15.2**	1.3**
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0.5	0	0	0	C	C	C
11	0	0	0	0.3	C	C	C
12	9.4	2.5	0.8	2.8	C	C	C
13	52.1	40.6	47.0	57.2	C	C	C
14	0.2	1.3+	1.3+	1.3	55.2**	51.9**	53.8**
15				0	C	C	C
16				0	C	C	C
17				0	C	C	C
18				0	C	C	C

* C = No readings; rainfall accumulating in rain gauge.

** Cumulative rainfall readings (rainfall probably occurred on the days indicated for stations P1 to P4).

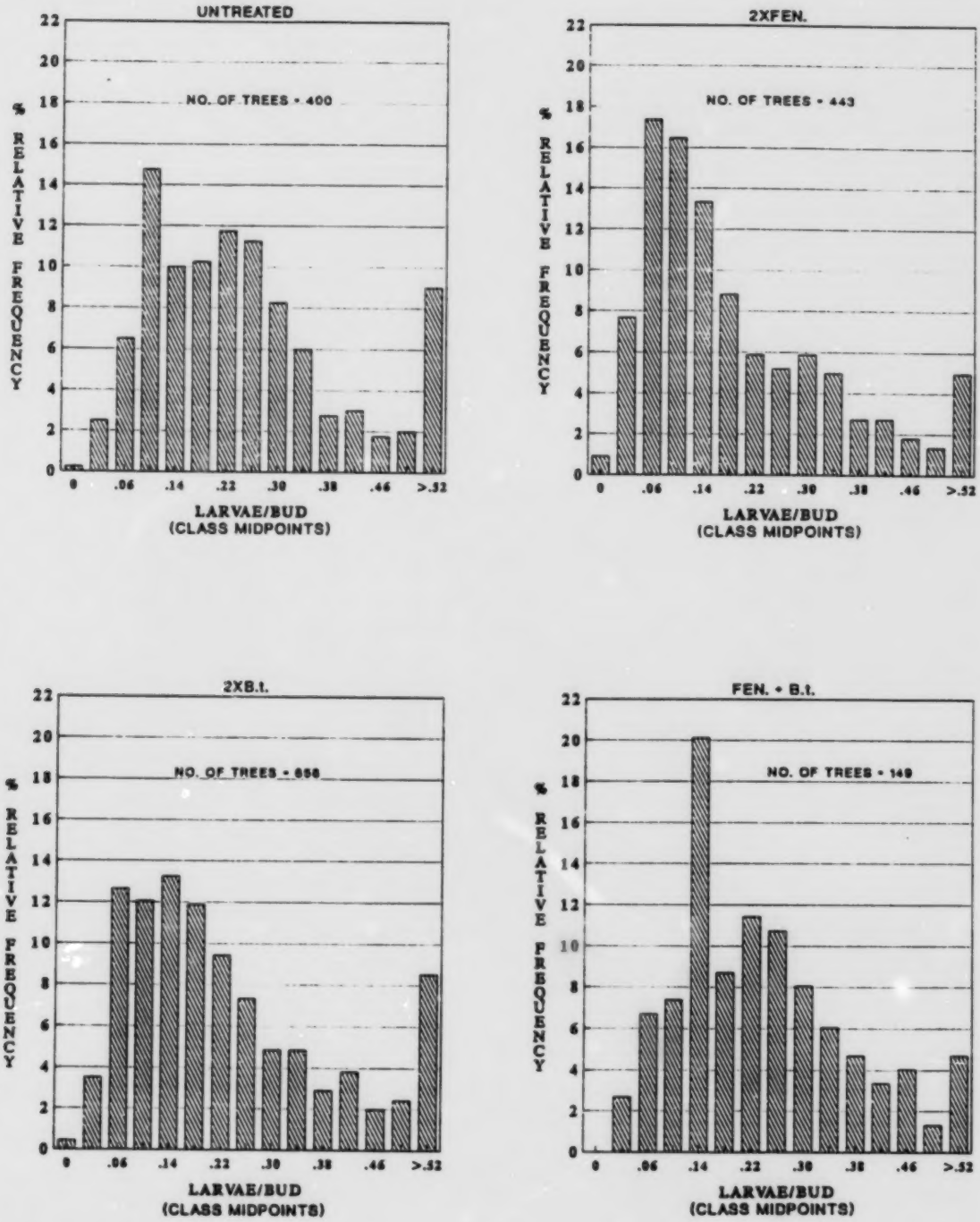


Figure 5. Distribution of pre-spray larval populations in treated and untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

ing B.t. in TBMs equipped with Sergonairs resulted in only 3760 ha receiving this treatment. Within this area only 25 trees were sampled.

In similar fashion, many of the other combinations had low sample sizes. Consequently, the data were pooled into three main treatments for analyses, viz: i) fenitrothion applied twice at 210 g/ha; ii) Futura XLV-HP or Dipel 64AF applied twice at 15 BIU/ha; and iii) a sequential treatment with fenitrothion applied once at 210 g/ha followed by an application of Futura XLV-HP or Dipel 64AF at 15 BIU/ha.

4.3 Treatment Results

Using regression analysis techniques and tree data from untreated samples, curves of percent larval mortality (Figure 6A) and percent expected defoliation (Figure 6B) versus pre-spray larval density were generated. Resulting regression equations were used with counts of pre-spray larvae from trees in treated areas to estimate percent larval mortality and percent defoliation which would have occurred in the absence of treatment. This provided information for calculating values of corrected mortality or mortality due to insecticide (Abbott, 1925), and values of percent reduction in defoliation for treated samples.

4.3.1 Overview

For a broad overview, means were calculated for treated blocks and untreated transects (Table 6). Examination of mean percent defoliation in treatments versus controls, mean absolute reduction in defoliation, and mean percent reduction in defoliation indicated benefits due to treatment. At similar pre-spray larvae/bud populations, however, differences in foliage protection were observed, with the sequential treatment providing the least protection and the chemical treatment providing better protection than the B.t. treatment. Positive results were noted in Block A-13 treated with 1x30 BIU/ha, but populations were only low to moderate, and this block was located about 50 km west of the majority of the B.t. treatment areas. Results for this treatment were not pooled with the 2x15 BIU/ha data and were not included in any further analysis.

Treatment efficacy was also examined using regressions of percent current defoliation versus pre-spray larval densities grouped in classes of 0.04 larvae/bud (Figure 7). The correlation for the regression line for the sequential fenitrothion plus B.t. treatment was insufficient to warrant showing the line ($r^2 = 0.16$;

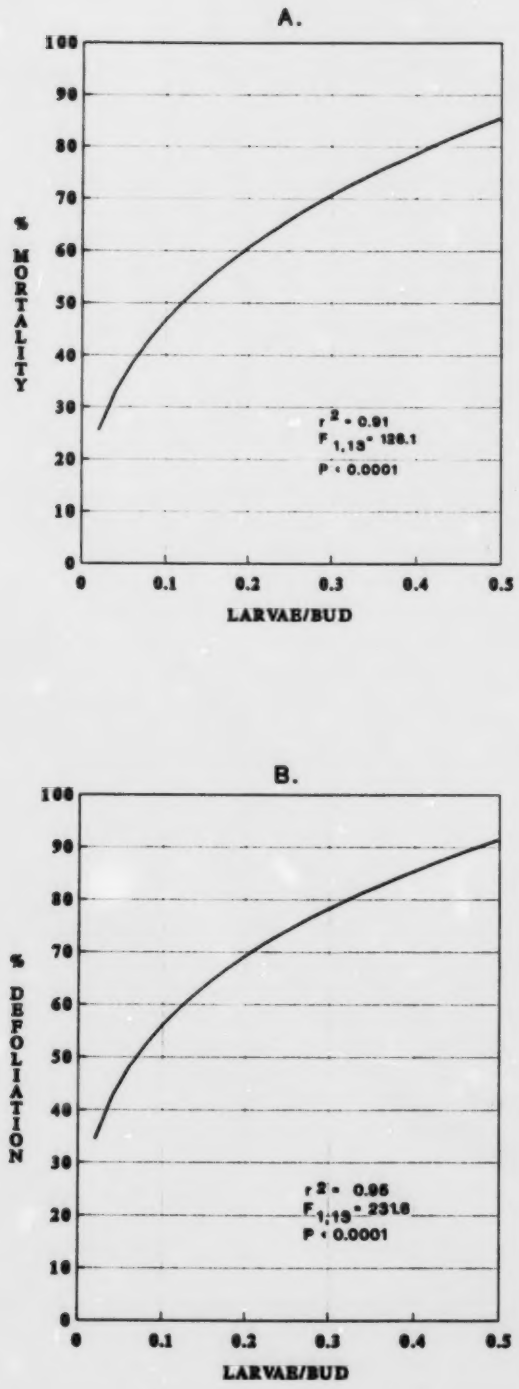


Figure 6. Relationships between pre-spray larval populations and percent larval mortality (A) and percent current defoliation (B) in untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

Table 6. Mean larval densities, larval mortality, and current defoliation on balsam fir trees from treated and untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

		Pre-Spray Larvae		% Mortality		Defoliation	Reduction in Defoliation	
Block	n	/45-cm	/bud	Obs.	Corr.[a]	Obs. %	Abs.[b]	%[c]
Fenitrothion - 2 X 210 g/ha								
A-10	153	18.0	.213	74.9	50.0	43.6	26.6	43.0
A-15	130	12.5	.128	81.8	71.9	14.4	41.9	75.8
A-19	60	15.7	.177	84.5	69.4	39.2	30.1	45.7
A-20	100	20.6	.275	89.2	68.7	47.4	28.3	41.8
Bacillus thuringiensis - (Futura XLV-HP) - 2 X 15 BIU/ha								
A-5	95	8.4	.108	71.8	55.1	14.8	39.3	74.2
A-6	172	14.9	.244	82.8	60.5	36.6	34.3	53.0
A-7	99	22.7	.247	80.9	58.5	61.1	17.4	23.9
A-8	100	29.7	.296	71.1	32.4	62.9	15.5	21.7
A-21	100	27.4	.326	84.6	57.8	65.7	14.5	21.1
Bacillus thuringiensis - (Dipel 64AF) - 2 X 15 BIU/ha								
A-18	90	16.3	.236	83.9	64.1	51.9	21.2	30.9
Bacillus thuringiensis - (Foray 48B) - 2 X 15 BIU/ha								
A-22	50	14.5	.252	89.2	70.7	51.0	24.4	35.2
Bacillus thuringiensis - (Futura XLV-HP) - 1 X 30 BIU/ha								
A-13	50	8.5	.115	85.3	76.3	27.6	30.2	56.0
Fenitrothion(210 g/ha) + B.t.(15 BIU/ha)								
A-9	49	20.7	.268	69.9	33.4	84.8	4.7	7.0
A-17	100	21.7	.231	85.9	66.1	60.0	20.7	28.7
Untreated								
C101	30	37.3	.324	74.0	-	99.0	-	-
C102	50	9.5	.133	46.2	-	32.6	-	-
C103	30	23.6	.220	64.9	-	68.4	-	-
C104	25	21.7	.284	72.4	-	80.3	-	-
C105	25	19.7	.145	43.5	-	89.4	-	-
C106	30	18.5	.219	59.1	-	80.1	-	-
C107	30	27.9	.544	66.1	-	99.6	-	-
C108	30	12.6	.180	64.6	-	45.5	-	-
C201	30	17.7	.270	74.6	-	71.4	-	-
C202	30	22.9	.348	75.4	-	80.0	-	-
C203	30	20.7	.275	70.6	-	82.9	-	-
C204	60	19.9	.258	76.3	-	70.0	-	-

[a] Abbott (1925).
[b] Absolute reduction in defoliation = Σ(Exp. % - Obs. %)/n
[c] % Reduction in Defoliation = Σ(((Exp. % - Obs. %)/Exp. %) X 100)/n

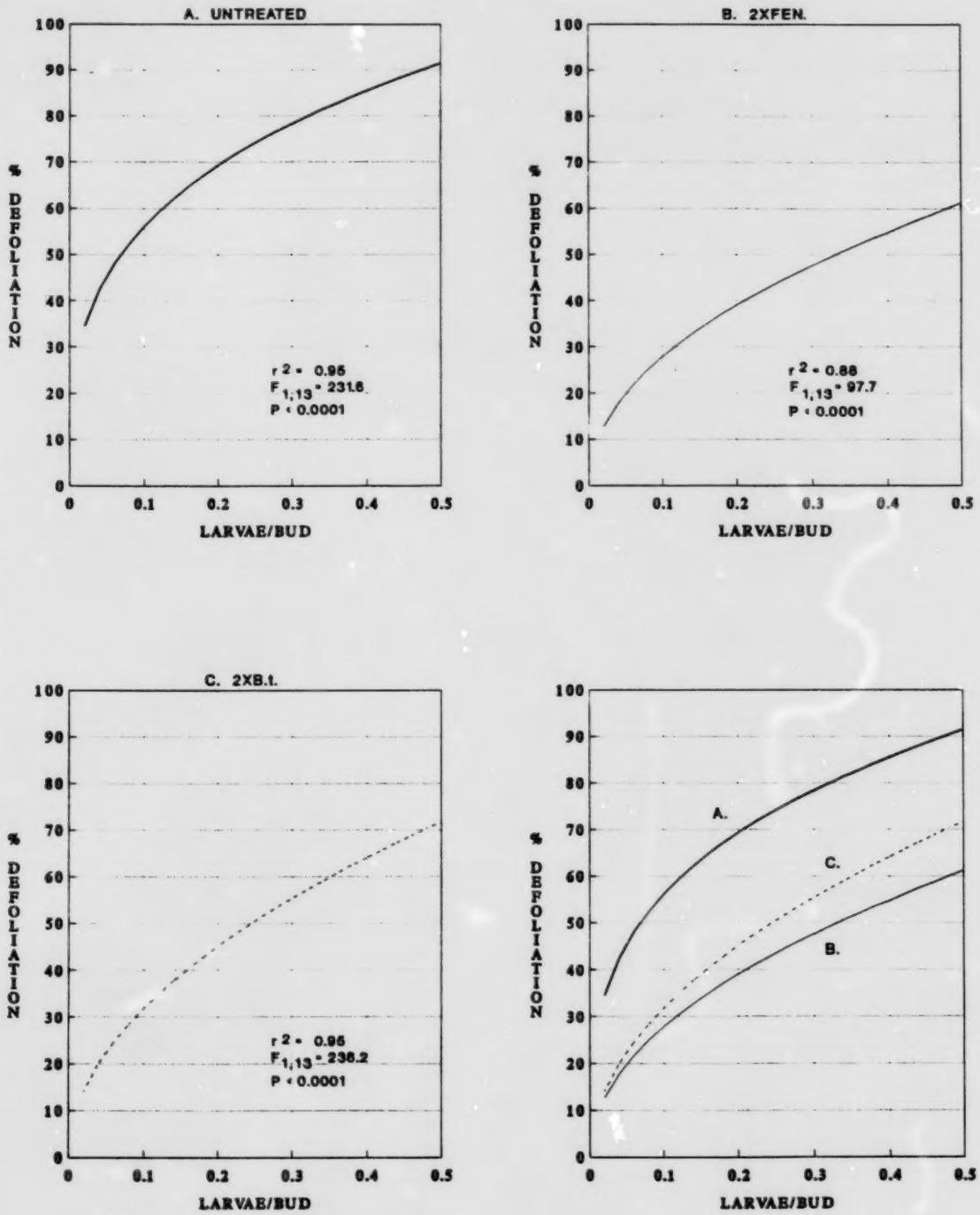


Figure 7. Relationships between pre-spray larval populations and percent current defoliation in untreated and treated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

slope not different from zero) (See Section 4.3.4). Regression lines for the other two treatments were both lower than the untreated regression line. Based on the regression lines, defoliation generally exceeded the foliage protection objective at pre-spray larval densities greater than 0.16, and 0.21 larvae/bud in the B.t. and fenitrothion treatments, respectively.

Because the data were not normally distributed, non-parametric statistical tests were also used to evaluate differences between treatments. For each treatment, data were pooled into four broad population classes (low: 0 to 0.1 larvae/bud; moderate: > 0.1 to 0.2 larvae/bud; high: > 0.2 to 0.3 larvae/bud; extreme: > 0.3 larvae/bud). For each class and treatment, results of larvae/branch, larvae/bud, percent mortality, corrected mortality, percent defoliation and percent reduction in defoliation were summarized (Table 7) and evaluated (Kruskal-Wallis) for statistical differences. Where significant differences were detected, comparisons were made between all possible (i.e. 6) combinations of two treatments using the Wilcoxon two-sample test for non-paired samples (Daniel, 1990). These analyses supported original interpretations of treatment efficacy. At similar[a] larval densities the sequential treatment provided the lowest foliage protection and the fenitrothion treatment provided better protection than the B.t. treatment.

To further assess foliage protection differences between treatments, the distribution of samples in 20% current defoliation classes was examined for each population class (Figure 8). Comparisons of the distribution of defoliation results showed benefits due to treatment, and differences in foliage protection between treatments. For example, the higher proportion of trees in the lower defoliation classes in the fenitrothion versus the B.t. treated areas indicated a greater benefit due to treatment with fenitrothion.

Overall, the percentage of sampled balsam fir trees meeting the defoliation objective was 64%, 45%, and 28% for fenitrothion, B.t., and sequential fenitrothion plus B.t., respectively. In contrast, only 20% of the sampled trees in untreated transects had defoliation within the objective.

4.3.2 Effect of post-spray weather

Considering the amount of weather data which were available, it was decided to investigate if efficacy was adversely affected by one obvious period of "bad" post-spray weather. In particular, comparisons were made using final defoliation results from fenitrothion and B.t. plots treated within a 24-hour period of extreme rainfall occurring June 12th - 14th (= "bad" weather) and results from plots not treated during this period (= "good" weather).

---

[a] Non-parametric results for larvae/bud indicate statistical differences in initial pre-spray population densities between treatments in moderate population classes only.

Table 7. Means, standard errors and non-parametric (Kruskal-Wallis; Wilcoxon two-sample test ($P < 0.05$)) results for treatments within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

Pre-spray Population Range (Larvae/Bud)	Treatment*	n	Larvae/Branch $\bar{x}$±SE	NP**	Larvae/Bud $\bar{x}$±SE	NP	% Mortality $\bar{x}$±SE	NP	Corrected Mortality $\bar{x}$±SE	NP	% Defoliation $\bar{x}$±SE	NP	% Reduction in Defoliation $\bar{x}$±SE	NP
≤ 0.1	Untreated	60	6.2±0.5	a	.067±.003	a	38.6±4.5	a	-	-	47.4±4.2	c	-	-
(LOW)	2 x Fen.	152	6.5±0.3	ab	.060±.002	a	74.6±2.6	c	65.4±3.1	c	18.8±1.9	a	67.3±2.7	c
	2 x B.t.	150	5.7±0.3	a	.064±.002	a	65.8±2.8	b	53.4±3.3	b	23.6±2.1	b	59.7±2.9	b
	Fen.+ B.t.	17	7.8±0.7	b	.066±.005	a	66.8±7.3	bc	52.8±8.1	abc	70.2±6.8	d	10.5±4.4	a
>0.1≤0.2	Untreated	117	12.7±0.5	a	.146±.003	a	54.9±2.9	a	-	-	64.2±2.7	c	-	-
(MODERATE)	2 x Fen.	134	13.7±0.5	a	.144±.002	a	81.4±2.0	b	65.7±3.0	a	35.7±2.6	a	49.5±3.2	c
	2 x B.t.	203	13.5±0.5	a	.151±.002	b	77.9±1.7	b	59.4±2.6	a	42.7±2.1	b	40.6±2.5	b
	Fen.+ B.t.	51	15.5±0.9	b	.149±.003	ab	81.9±2.2	b	62.3±4.3	a	60.6±4.9	c	26.1±5.1	a
>0.2≤0.3	Untreated	108	21.3±0.9	a	.249±.003	a	74.9±2.2	a	-	-	79.9±2.3	c	-	-
(HIGH)	2 x Fen.	63	23.3±1.3	a	.252±.004	a	85.9±2.4	b	65.1±4.3	a	46.8±4.1	a	41.9±4.7	c
	2 x B.t.	125	20.8±1.0	a	.246±.002	a	83.2±1.5	b	58.1±2.9	a	56.4±2.5	b	29.6±2.7	b
	Fen.+ B.t.	42	23.5±1.7	a	.251±.005	a	81.6±3.0	b	55.9±5.6	a	69.1±5.1	c	22.8±5.1	a
>0.3	Untreated	115	34.6±1.9	a	.489±.020	a	82.1±1.8	a	-	-	86.0±2.1	d	-	-
(EXTREME)	2 x Fen.	94	32.8±1.9	a	.459±.016	a	89.6±1.8	b	55.1±4.2	a	53.6±3.0	a	41.0±3.1	c
	2 x B.t.	178	36.9±1.7	a	.500±.015	a	90.5±1.0	b	49.9±2.9	a	67.6±2.1	b	26.3±2.1	b
	Fen.+ B.t.	39	32.7±2.7	a	.436±.018	a	83.9±3.3	ab	46.7±6.7	a	76.2±5.0	c	19.1±4.9	a
Pooled	Untreated	400	20.4±0.8	b	.261±.010	c	65.7±1.5	a	-	-	72.2±1.5	c	-	-
	2 x Fen.	443	16.7±0.7	a	.197±.008	a	81.5±1.2	c	63.3±1.8	b	35.3±1.5	a	52.7±1.7	c
	2 x B.t.	656	19.5±0.7	a	.244±.008	bc	79.6±1.0	b	55.2±1.5	a	47.7±1.3	b	39.0±1.4	b
	Fen.+ B.t.	149	21.4±1.1	b	.243±.012	c	80.6±1.7	b	55.3±3.0	a	68.2±2.7	c	21.6±2.7	a

* Treatments: Untreated - Unsprayed transects.
2 x Fen. - Fenitrothion @ 2 x 210 g/ha.
2 x B.t. - Futura XLV-HP or Dipel 64AF @ 2 x 15 BIU/ha.
Fen.+B.t. - Fenitrothion @ 1 x 210 g/ha + Futura XLV-HP or Dipel 64AF @ 1 x 15 BIU/ha.

** NP - means with same letter within population classes in each column are not significantly different (Kruskal-Wallis; Wilcoxon two-sample test, $P < 0.05$).

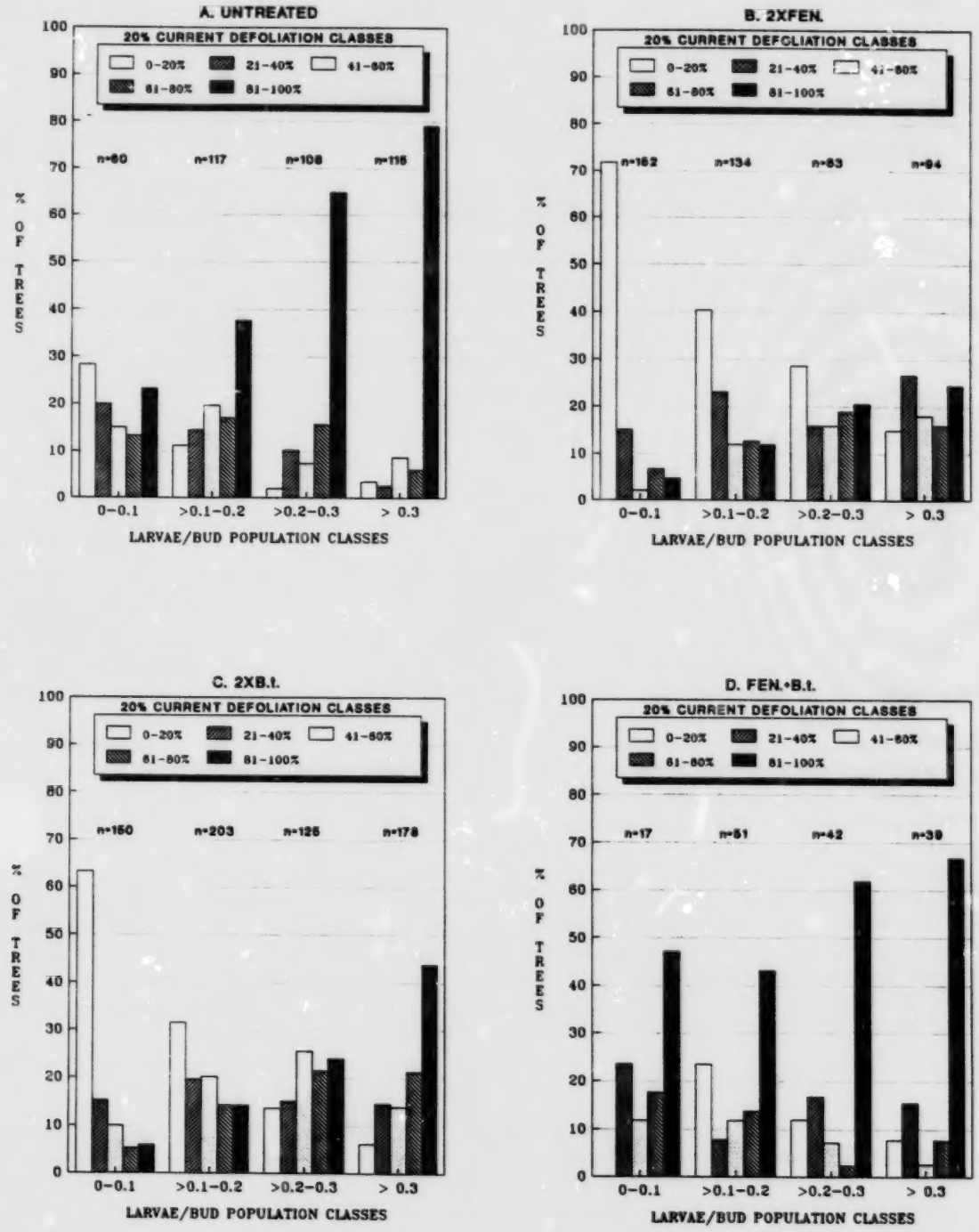


Figure 8. Distribution of percent current defoliation levels within population classes in treated and untreated transects within the M-H forecast in northern N.B. in 1991.

For both treatments, the distribution of samples falling into 20% current defoliation classes (Figures 9, 10) were stratified by population class to examine differences in foliage protection between subsets of data with different periods of treatment prior to extreme rainfall (i.e. for fenitrothion: June 12 p.m. = 4 to 5 hours prior, versus June 12 a.m. = 13 to 17 hours prior to onset of heavy rainfall, versus not within the 24-hour period; for B.t.: June 12 a.m. = 12-17 hours prior to the onset of heavy rainfall, versus not within the 24-hour period). There were no B.t. plots where treatment occurred within 4 to 5 hours of heavy rainfall. Regression analysis was also used to examine trends in levels of foliage protection for these periods (Figures 11, 12).

For fenitrothion, analyses indicated a trend where defoliation was highest in plots treated 4 to 5 hours prior to the onset of extreme rainfall (June 12 pm), intermediate in plots treated 13-17 hours prior to rainfall (June 12 am), and lowest in plots not treated within the 24-hour period (Figure 11). Interestingly, the latter or "good" weather regression line was more typical of efficacy reported for fenitrothion in 1988, 1989 and 1990 (Figure A1, Appendix). These results suggest that <u>extremely</u> poor post-spray weather in the form of very heavy rainfall impacted negatively on fenitrothion's efficacy and indicate that overall fenitrothion foliage protection results in 1991 were lower, at least in part, because of this poor post-spray weather. A review of records indicated that 40% of the second applications of fenitrothion in northern New Brunswick occurred 24 hours prior to this heavy rain.

For B.t., analyses indicated a trend of higher defoliation in plots treated 12-17 hours prior to the onset of extreme rainfall (June 12 am), and slightly lower defoliation in plots not treated during the 24-hour period (Figure 12). Differences were generally apparent at low and moderate population levels. Because "bad" weather plots represented less than 9% of the total number of B.t. trees sampled, the overall efficacy achieved with B.t. in the program was not very different from the B.t. "good" weather plots. Results were also very similar to those achieved in 1990 (Figure A2, Appendix). At high and extreme populations this year, it appears that even under "good" post-spray weather conditions, other factors impacted negatively on B.t. efficacy. Delays between applications, single mode of action of B.t. and short longevity, and possibly deposit of insufficient quantity and quality are possible causes. These factors were apparently not as detrimental to fenitrothion under "good" weather.

4.3.3 <u>Effect of delays</u>

Both applications of fenitrothion and B.t. were completed within 14 and 15 days after block opening, respectively. This generally corresponded to budworm development ranging from peak 3rd to peak 5th instar (i.e. Larval Index 3.0 to 5.0). To investigate the effect of time delays on final results, mean percent defoliation and mean corrected larval mortality were plotted by population class as a function of days to completion of treatment (Figure 13). Data associated with the period of heavy rain (June 12th-14th) were excluded from this analysis.

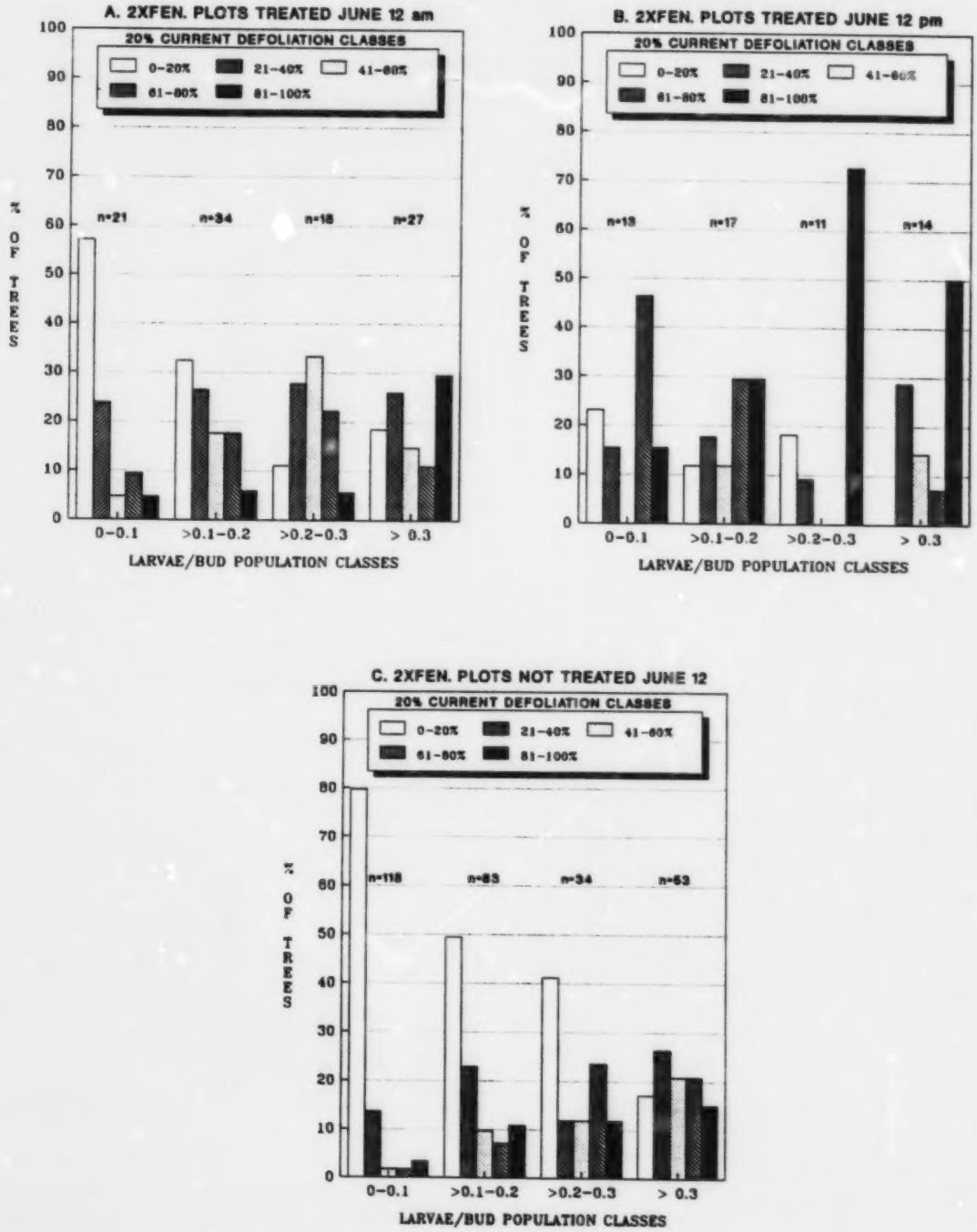


Figure 9. Distribution of percent current defoliation levels within population classes in fenitrothion-treated plots with "good" and "bad" post-spray weather (see text).

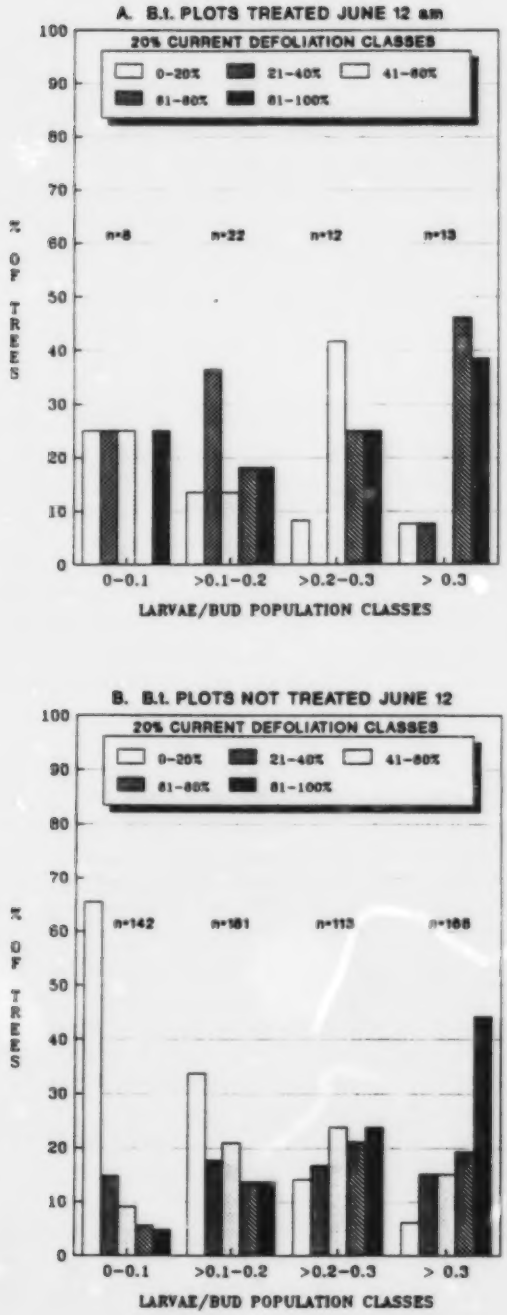


Figure 10. Distribution of percent current defoliation levels within population classes in B.t.-treated plots with "good" and "bad" post-spray weather (see text).

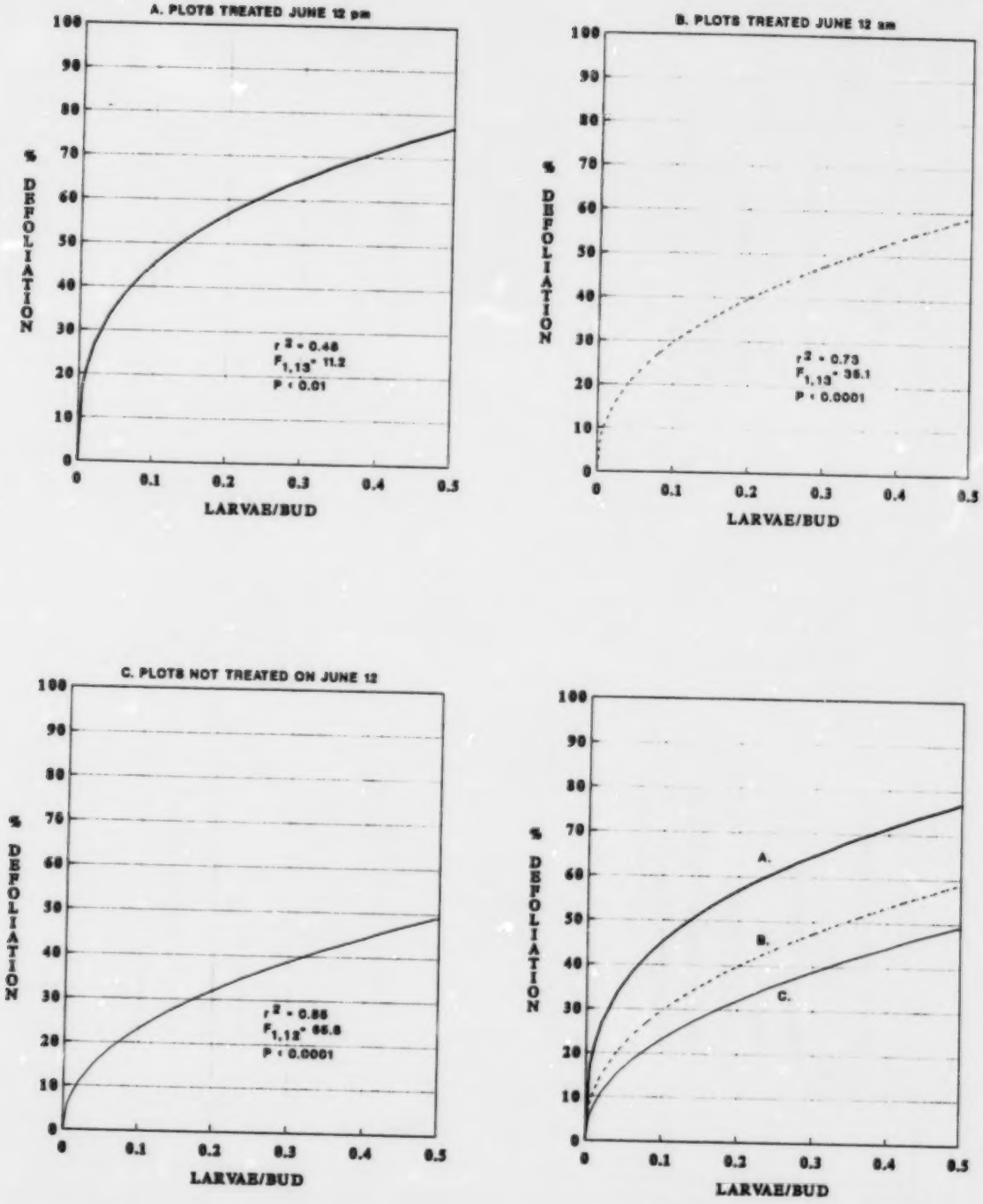


Figure 11. Relationships between pre-spray larval population and percent current defoliation in "good" and "bad" post-spray weather plots treated with fenitrothion (see text).

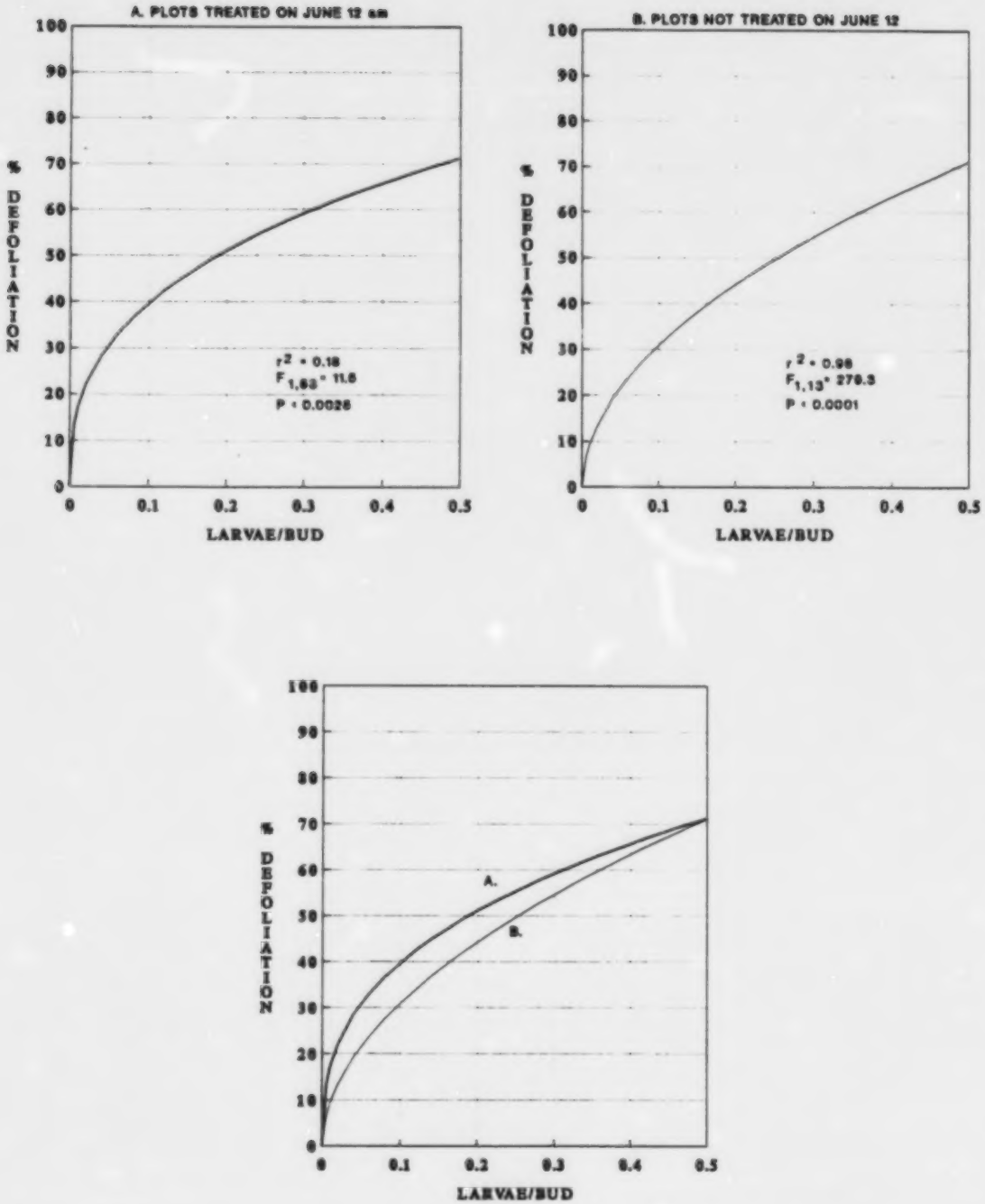


Figure 12. Relationships between pre-spray larval population and percent current defoliation in "good" and "bad" post-spray weather plots treated with B.t. (see text).

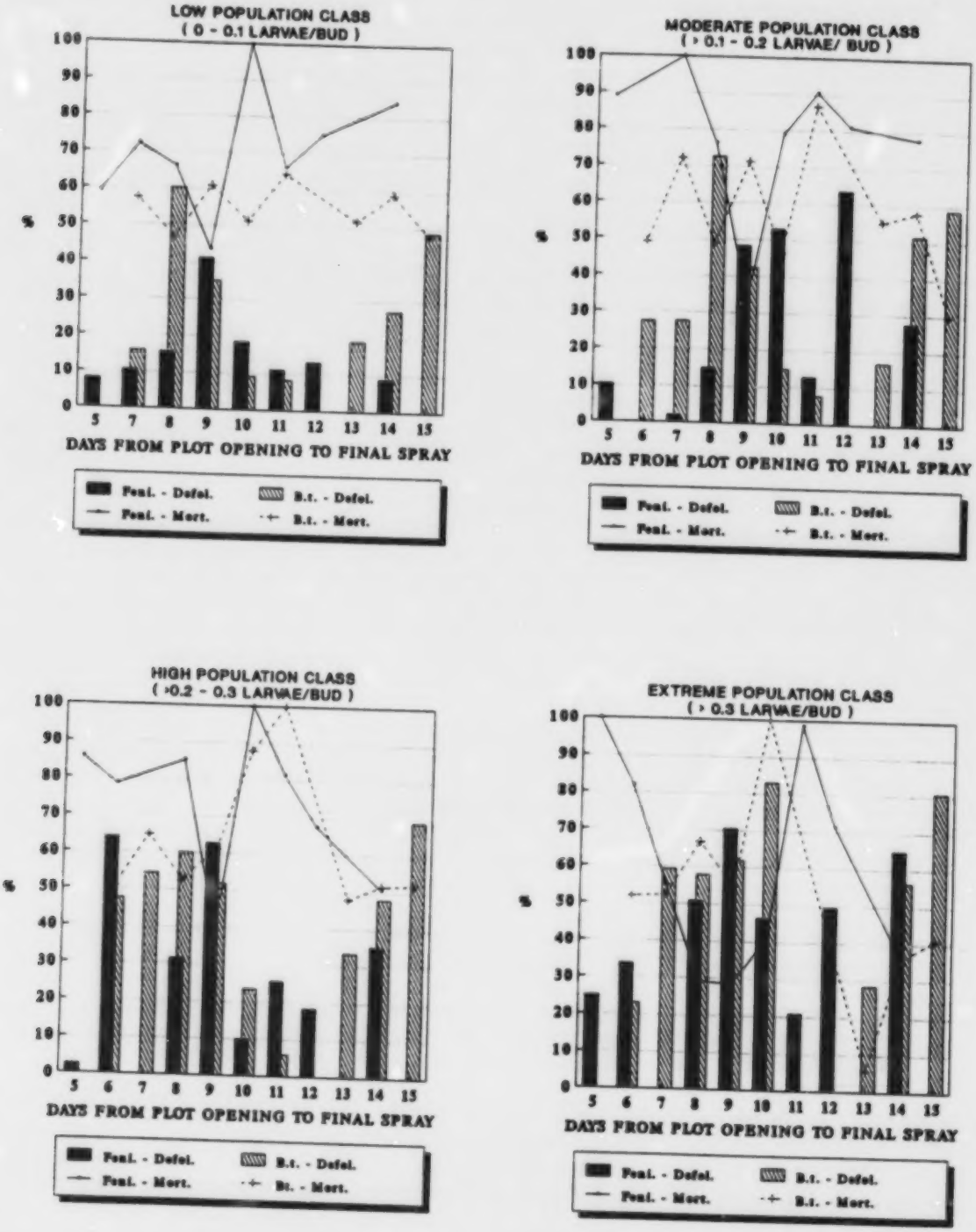


Figure 13. Relationships between defoliation, delays, and corrected mortality for fenitrothion and B.t. treatments in 1991.

For low populations, fenitrothion data for day 9 gave 41.2% defoliation which was essentially at the upper limit (40%) for the program. This was associated with only 44% larval mortality which was the lowest for fenitrothion in this group. The rest of the fenitrothion defoliation data were within the objective. For B.t., the desired defoliation limit was exceeded on days 8 and 15; corresponding larval mortality was only 47% and 48%, respectively.

For moderate populations, the fenitrothion data exceeded the desired limit on three days (i.e. days 9, 10, and 12). For day 9, larval mortality was only 33% and this could explain the lack of success. On the other hand, larval mortality was 79% and 81% on days 10 and 12, respectively, yet acceptable results came from day 14, which had a similar larval mortality of 78%. It is surmised, therefore, that a differential contribution by first and second sprays to larval mortality could account for these differences. With B.t., mean defoliation exceeded the target on four days (i.e. days 8, 9, 14 and 15) with larval mortalities of 49%, 71%, 58%, and 36%. Again the very low mortality for day 15 helps explain the poor results, whereas differential effects of the two applications might explain the others.

For high populations, the 6- and 9-day data for fenitrothion are above the desired limit, with the 6-day data having 78% larval mortality, compared to only 39% larval mortality for day 9. For B.t., 6 of the days (6, 7, 8, 9, 14, and 15) had defoliation above the limit with larval mortalities ranging from 51% to 65%.

For extreme populations, the desired defoliation limit was exceeded with fenitrothion on five days (i.e. days 8, 9, 10, 12, and 14). Except for larval mortality of 71% for day 12, the rest ranged from 29% to 41%. For B.t., defoliation was above the limit for six days (i.e. days 7, 8, 9, 10, 14, and 15). Except for day 10 (one observation of 100% larval mortality), larval mortalities ranged from 36% to 67%. Low larval mortalities for these population levels undoubtedly explain the lack of success for both insecticides.

Based on the combined delay and larval mortality data the following <u>general</u> conclusions are suggested:

1. For low and moderate larval populations, acceptable results can occur with delays up to 14 days (i.e. from larval index 3.0 to 5.0) provided larval mortality is 50% or more. Exceptions occur, see 4.

2. For high and extreme populations, acceptable results can also occur with delays up to 14 days provided larval mortality is 75% or more. Exceptions occur, see 4.

3. Acceptable results are more likely to occur with fenitrothion than with B.t. across a broader larval density and with longer delays between block opening and completion of spraying. For example, larval mortality with fenitrothion was ≥50% in 78% of the observations, and ≥75% in 49% of the observations, whereas larval mortality with B.t. was ≥50% in 67% of the observations, but ≥75% in only 15% of the observations.

4. When exceptions occur it is surmised that either one or both of the two sprays are sub-optimal in relation to the delay and the particular population level. For example, if populations are high and the first spray does not cause sufficient mortality and the delay is more than 10 days or so, damage can occur above the desired limit even though the second spray causes significant mortality. Adequacy of deposit is also implicated in these relationships.

4.3.4 Sequential Fenitrothion Plus B.t.

Data for the sequential fenitrothion plus B.t. treatment did not present a very beneficial picture when examined in total by regression analysis, yet some effect was indicated by block means (Table 6) and the non-parametric analysis (Table 7). Further examination revealed the total data set comprised subsets of data with different periods between block opening and completion of treatment (Table 8). Essentially, there were three pairs of data, viz. 5- and 7-day, 10.5- and 11-day, and 16.5- and 17-day. Phenologically there were no differences between each pair at the time indicated, however, larval and shoot development increased with time.

For the 5- and 7-day pair, the 7-day data had lower mean defoliation and higher percent reduction in defoliation than the 5-day data. This could partly be explained by higher corrected mortality for the 7-day data. Different mortality levels suggest differences in deposits between treaments or some other adverse factor.

For the 10.5- and 11-day pair, the 11-day data had lower mean defoliation and higher percent reduction in defoliation than the 10.5 day data. This could also be partly explained by higher corrected mortality for the 11-day data. Again, this might suggest different deposits or some other adverse factor.

For the 16.5- and 17-day pair, there was no difference in mean defoliation or percent reduction in defoliation despite a significantly higher corrected mortality for the 16.5-day data (deposit differences?). Similar defoliations could be explained if the mortality occurred either after most of the damage had been done (i.e. due to delays) or if the larvae fed extensively before encountering or accumulating a lethal dose of B.t. (inadequate quantity or quality of deposit inferred).

Reviewing these results suggests that at these population levels, adequate foliage protection can be afforded by a sequential fenitrothion followed by B.t. treatment if both applications are made within a 7-day period from block opening and larval mortality is sufficiently high. Delays of 11 days were positive but less acceptable, and perhaps a higher larval mortality might have given better results. Only minor protection was afforded at 16.5 days despite a reasonably high level of larval mortality. This is not surprising because larvae consume increasing amounts of needles as larval size (instar) increases. These data do not reveal to what degree each treatment contributed to final results. Additional trials and examination are warranted as this might lead to an adequate integrated approach to using these two insecticides.

Table 8. Results for sequential fenitrothion plus B.t. treatment based on delays between opening blocks for treatment and completion of second application.

Delay (Days)	n	Pre-spray Larvae/bud $\bar{x}$	NP*	% Defol. $\bar{x}$	NP*	% Red. Defol. $\bar{x}$	NP*	% Corr. Mort. $\bar{x}$	NP*
5	49	0.268	a	84.8	c	7.0	a	33.4	a
7	30	0.226	a	34.9	a	56.4	c	76.4	c
10.5	10	0.328	a	96.4	d	0.2	a	37.9	a
11	30	0.205	a	65.4	b	21.8	b	61.9	bc
16.5	10	0.281	a	76.4	c	9.0	ab	81.2	c
17	20	0.202	a	78.7	c	10.9	a	51.3	ab

* NP - Means with same letter in each column are not significantly different (Kruskal-Wallis; Wilcoxon two-sample test, $p<0.05$).

4.3.5 Foray 48B Treatment

Only one 800-ha block was treated with the B.t. product Foray 48B at 2x15 BIU/ha, representing less than 0.3% of the overall area treated. Fifty trees were sampled in the block. Means for pre-spray populations, percent mortality, percent current defoliation and percent reduction in defoliation were calculated (Table 6). At comparable pre-spray populations, Foray 48B results were similar to results obtained with Dipel 64AF (i.e. Block A-18) and within the range of results seen with Futura XLV-HP (i.e. Blocks A-6, A-7). Results with this treatment might have been higher had the second application not been applied within the 24-hour period (i.e. the morning of June 12th) preceding extreme weather.

4.3.6 Aerial Assessment

Of the total area of moderate and severe defoliation detected within the Province, 65.4% was found outside treated areas. Of the overall area treated, 31.9% had moderate and severe defoliation. Moderate and severe defoliation was found on 27.0% of the total area treated with fenitrothion, 41.9% of the total area treated with B.t., and 28.8% of the total area treated with sequential fenitrothion plus B.t. (Table 9).

Considering only the area treated within the moderate to high forecast in northern N.B., 28.9% of the fenitrothion treated area, 41.9% of the B.t. treated area, and 28.8% of the sequential fenitrothion plus B.t. treated area had moderate to severe defoliation. In contrast, <3% of the area treated within the variable forecast had moderate and severe defoliation. For the 15-year period from 1977 to 1991, during which chemicals were mostly used, the average proportion of treated area having moderate and severe defoliation was 17% (range 6-38%).

Table 9. Summary of areas of moderate and severe defoliation within treatments in New Brunswick in 1991.

Treatment	Area (ha) Sprayed	Area (ha) Defoliated	% Treated Area Defoliated
Fenitrothion	176 705	47 627	27.0
B.t.	92 365	38 725	41.9
Fenitrothion + B.t.	19 080	5 497	28.8
Totals	288 150	91 849	31.9

5. INFESTATION FORECAST FOR 1992

The spruce budworm egg mass survey was replaced by the L2 survey in 1985 as the method of forecasting infestation levels in New Brunswick. The proportion of sample points within each infestation category used in the initial forecasts has varied annually from 1981 to 1991 (Table 10). Between 1982 and 1986 there was an increasing trend in the percentage of points in the Low category with a corresponding decreasing trend for the High category. Between 1986 and 1987, there was a three-fold increase in the proportion of points in the High category in the north-central to northwestern parts of the Province, primarily Restigouche County. In 1988 and 1989 most of Restigouche County contained variable (low to moderate) populations. In these same

Table 10. Comparison of spruce budworm forecast infestation levels from 1981 to 1991.

Year/Survey	n[a]	Forecast Infestation Level		
		Low	Moderate	High
1981/egg-mass	1740	(34%)	(25%)	(41%)
1982/egg-mass	1753	(26%)	(29%)	(45%)
1983/egg-mass	1316	(48%)	(20%)	(32%)
1984/egg-mass	1476	(51%)	(22%)	(27%)
1985/L2	1521	(56%)	(32%)	(12%)
1986/L2	1586	(77%)	(20%)	(3%)
1987/L2	1572	(76%)	(15%)	(9%)
1988/L2	1204[b]	(73%)	(19%)	(8%)
1989/L2	1349[b]	(82%)	(13%)	(5%)
1990/L2	1198[b]	(84%)	(11%)	(5%)
1991/L2	1079[b]	(87%)	(10%)	(3%)

[a] - Number of locations sampled; supplementary sampling not included.
[b] - Fewer samples taken because of collapse in southern part of province.

The forecast for 1992 is for 0.62 million ha of moderate to high populations (Figure 14). This is a decrease of 20% from last year's moderate to high forecast area (0.77 million ha) and the total infestation is 38% lower (Table 11). Areas with variable populations last year (0.22 million ha) either collapsed or became more uniform at slightly higher populations this year.

Moderate to high populations are mostly expected in the northwestern part of Northumberland County, adjacent western portions of Gloucester County and parts of Restigouche County. Except for two areas of moderate to high populations in west-central New Brunswick, and one pocket northwest of Moncton, no significant damage is expected throughout the majority (90%) of the Province.

Table 11. Comparison of areas (ha) forecast in year N (1982-1991) to have moderate and high spruce budworm populations in year N+1.

YEAR (N)	(N + 1) FORECAST
1982	5.30 million ha
1983	4.10 million ha
1984	3.57 million ha
1985	3.15 million ha
1986	1.71 million ha
1987	1.50 million ha
1988[a]	1.65 million ha
1989[a]	1.47 million ha
1990[b]	0.99 million ha
1991	0.62 million ha

[a] Includes areas of variable (low-moderate) populations.
[b] Includes areas of variable (low-high) populations.

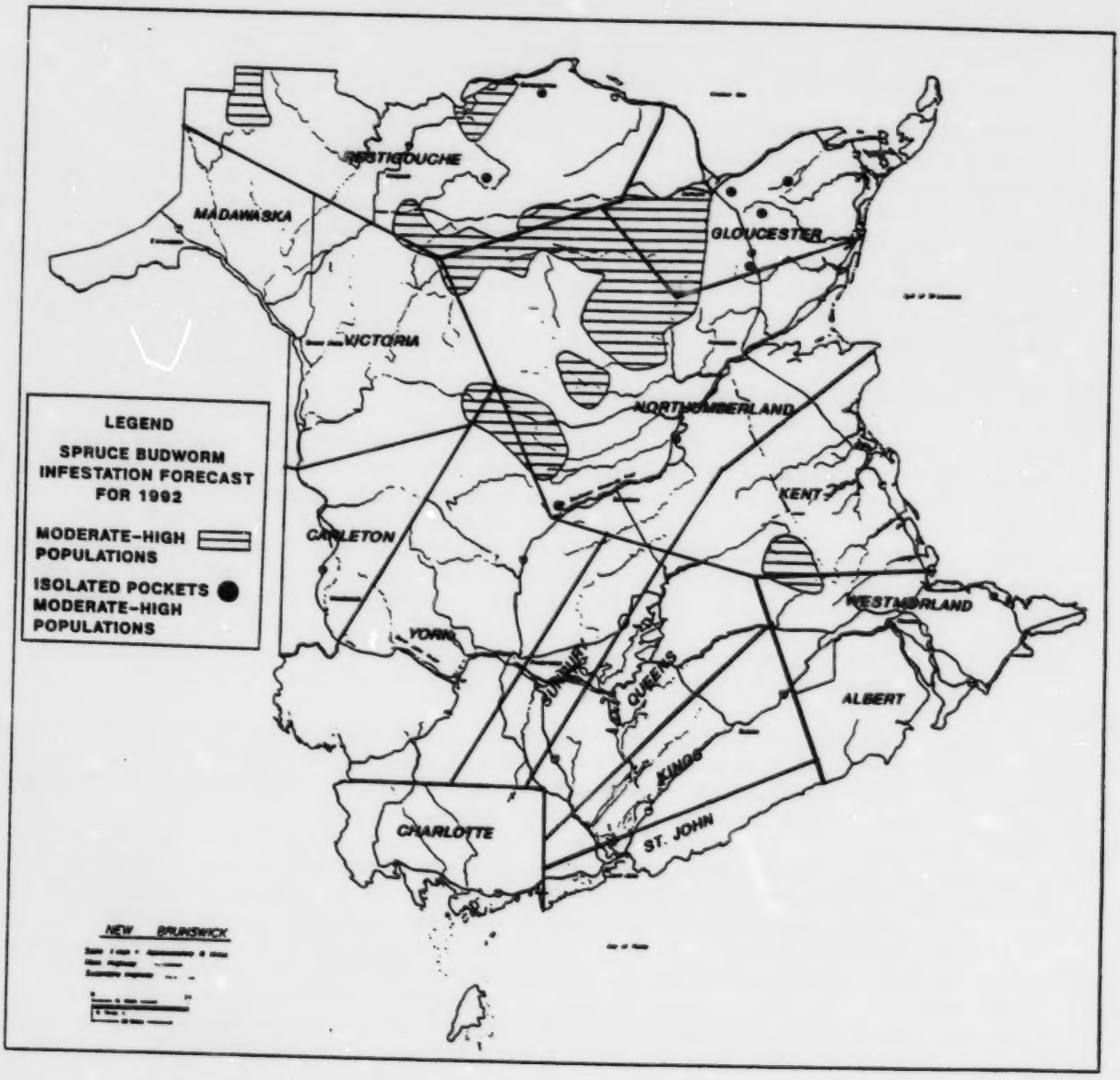


Figure 14. Areas forecast to have moderate to high spruce budworm populations in New Brunswick in 1992.

6. CONCLUSIONS

6.1 Area Treated

A total of 288 150 ha of spruce budworm infested forest were aerially treated in 1991 with chemical (fenitrothion) and/or biological insecticide (B.t.). Applications were made during the prescribed period considered to be the conventional time for larval spraying. Aerial spraying began on May 30th and was completed on June 16th. No areas were left untreated due to weather delays. For operational reasons, one 9000-ha block received a single application of B.t. at 30 BIU/ha instead of the scheduled 2x15 BIU/ha rate.

6.2 Effectiveness of Program

1. Timing between applications and adverse post-spray weather (periods of wet and cool) probably were mitigating factors adversely affecting foliage protection results.

2. Spray deposit and defoliation prior to completion of both applications were not assessed operationally hence protection results reflect what happened, but do not fully explain why.

3. Within the M-H forecast, various analyses revealed benefits provided by all three treatments, however:

   (a) fenitrothion treatment data were generally the best (e.g. mean defoliation = 35.3%; mean percent reduction in defoliation = 52.7%; mean larval mortality = 63.3%; percent of trees meeting the objective = 64%).

   (b) B.t. treatment data (excluding Futura XLV-HP @1x30 BIU/ha and Foray 48B @2x15 BIU/ha) were generally intermediate (e.g. mean defoliation = 47.7%; mean percent reduction in defoliation = 39.0%; mean larval mortality = 55.2%; percent of trees meeting the objective = 45%).

   (c) sequential fenitrothion plus B.t. treatment data were generally the worst in overview (e.g. mean defoliation = 68.2%; mean percent reduction in defoliation = 21.6%; mean larval mortality = 55.3%; percent of trees meeting the objective = 28%). However, see 5.

4. Data stratified on the basis of "good" or "bad" (> 50 mm rain) 48-hour post-spray weather indicated that "good" weather data for fenitrothion or B.t. were better than "bad" weather data, and that the fenitrothion data were best over all. Delays

between applications, the single mode of action of B.t., or deposit of insufficient quantity or quality were possible causes of lower efficacy in B.t. plots under "good" weather conditions. These factors were apparently not as detrimental to fenitrothion under "good" weather.

5. When the "bad" weather data were removed, the remaining data showed that acceptable results occurred with fenitrothion or B.t. applied between peak third and peak fifth instar with larval mortality ≥ 50% for low and moderate populations and ≥ 75% for high and extreme populations. Exceptions likely occurred due to sub-optimal effects (eg. inadequate deposit, "bad" weather) from either or both applications. The likelihood of success is greater with fenitrothion, since larval mortality ≥ 50% or ≥ 75% occurred more frequently than with B.t.

6. For the sequential treatments, adverse weather after the first application (fenitrothion), delays before applying the second application (B.t.), and/or inadequate deposit (unknown quantity or quality for each insecticide) appeared to mitigate against the overall success of this treatment. Nevertheless, the stratified data indicated acceptable results for sequential treatments applied within 7 days of block opening, and positive results within 11 days. Further testing of this spray scenario is warranted as this might lead to an acceptable integrated approach to using a chemical and biological insecticide.

7. Despite a limited area of treatment and limited sampling, analyses suggested that Foray 48B results were similar to results achieved with Futura XLV-HP and Dipel 64AF.

8. The aerial survey of defoliation detected 35 000 ha of light, 132 000 ha of moderate, and 134 000 ha of severe defoliation. Approximately 65.4% of the provincial moderate and severe defoliation occurred outside treatment areas.

9. Within the moderate to high population forecast for 1991, 28.9% of the fenitrothion treated area, 41.9% of the B.t. treated area, and 28.8% of the sequential fenitrothion plus B.t. treated area had moderate and severe defoliation.

6.3 Forecast

1. Based on the L2 survey the area forecast to have moderate to high budworm populations in 1992 is 0.62 million ha. This is a 38% decrease from last year's forecast. The forecast area covers about 8.5% of the total area of the Province.

2. The areas which will be affected are primarily within northern New Brunswick, i.e. portions of Restigouche, Gloucester and Northumberland Counties.

3. With the exception of an isolated area northwest of Moncton, no significant damage is expected in the southern half of the Province in 1992, continuing the low trend of the past several years.

REFERENCES

Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Ent. 18:265-267.

Carter, N. E. 1988. Protection spraying against spruce budworm in New Brunswick 1988. Dept. of Natural Resources, P.O. Box 6000, Fredericton, N.B.

Carter, N. E. 1990. Protection spraying against spruce budworm in New Brunswick 1989. Dept. of Natural Resources and Energy, P.O. Box 6000, Fredericton, N.B.

Carter, N.E. and D. Lavigne. 1991. Protection spraying against spruce budworm in New Brunswick 1990. Dept. of Natural Resources and Energy, P.O. Box 6000, Fredericton, N.B.

Daniel, W. W. 1990. Applied nonparametric statistics. 2nd Ed. PWS-Kent Publishing Co., Boston, Mass.

Davies, D. 1991. Forest Protection Limited 1991 Program Report. FPL, Comp. 5, Site 24, R.R.#1, Fredericton, N.B.

Dickison, R.B. 1991. Evaluation of operational 1991 spruce budworm spray program efficacy - Weather monitoring and forecasting; II. Ground-level monitoring. Report to Forest Protection Ltd. Comp. 5, Site 24, R.R.#1, Fredericton, N.B.

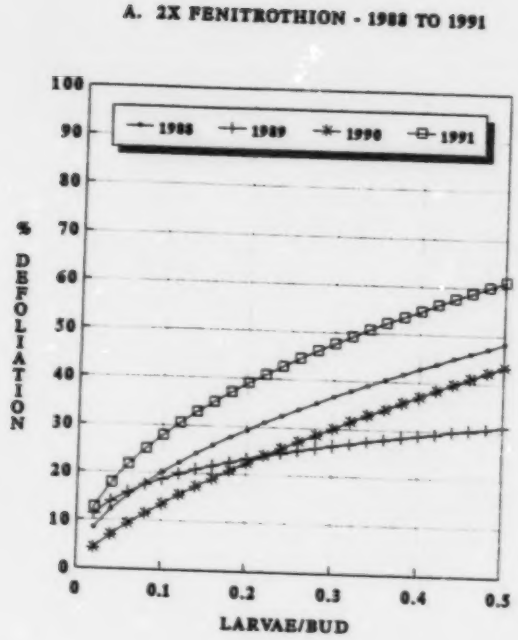
Dorais, L. and E. G. Kettela. 1982. A review of entomological survey and assessment techniques used in regional spruce budworm, Choristoneura fumiferana (Clem.), surveys and in the assessment of operational spray programs. Report of the Committee of Standardization of Survey and Assessment Techniques, Eastern Spruce Budworm Council.

Fettes, J. J. 1950. Investigations of sampling techniques for population studies of the spruce budworm on balsam fir in Ontario. Forest Insect Lab, Sault Ste. Marie, Ont., Ann. Tech. Rept.

Kettela, E. G. 1983. Status of spruce budworm infestations in New Brunswick in 1983 and a forecast of conditions for 1984. Env. Canada, Can. For. Serv., M.F.R.C., Tech. Note 100.

Koller, C.N. and D.E. Leonard. 1981. Comparison of energy budgets for spruce budworm, Choristoneura fumiferana (Clem.), on balsam fir and white spruce. Oecologia 49:14-20.

APPENDIX



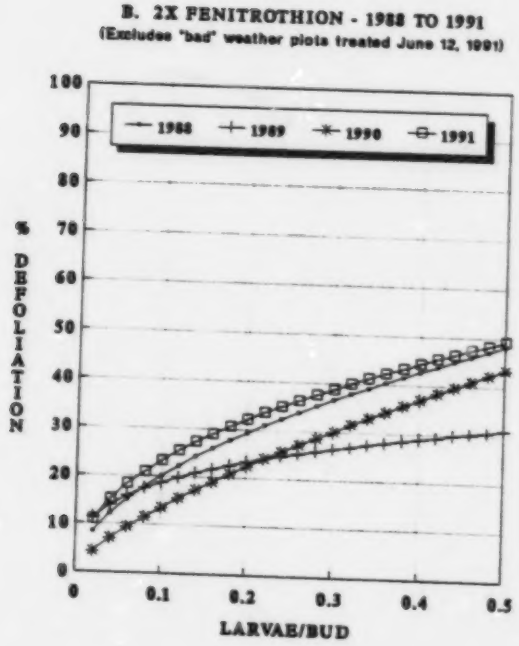


Figure A1. Comparison between 1991 fenitrothion results with (A) and without (B) "bad" weather data to results from 1988, 1989, and 1990.

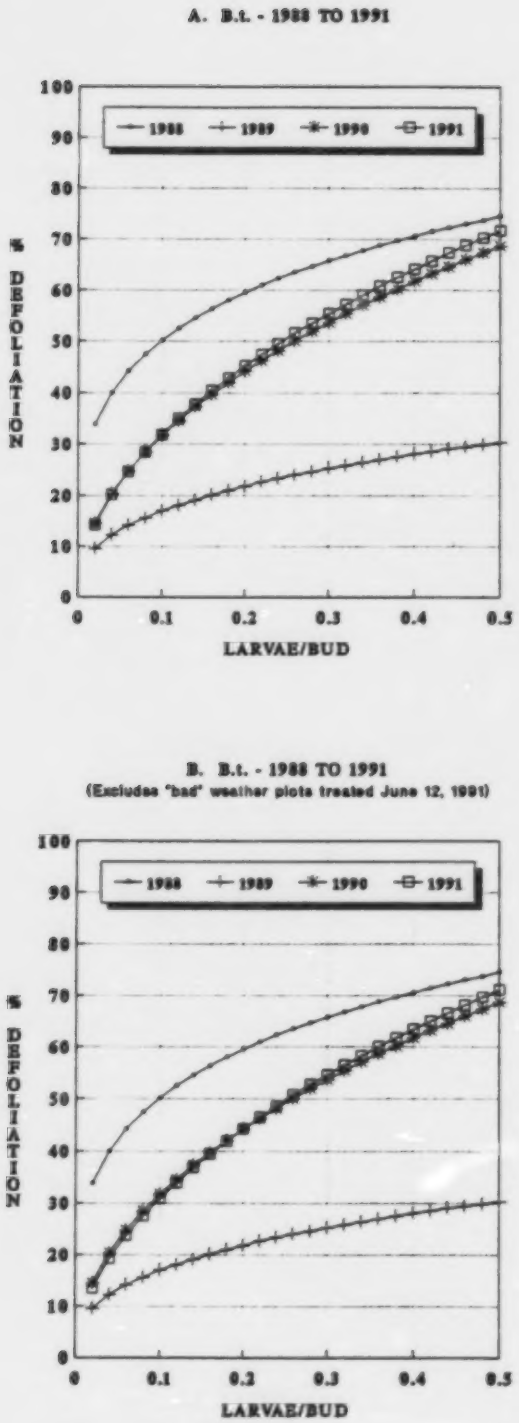
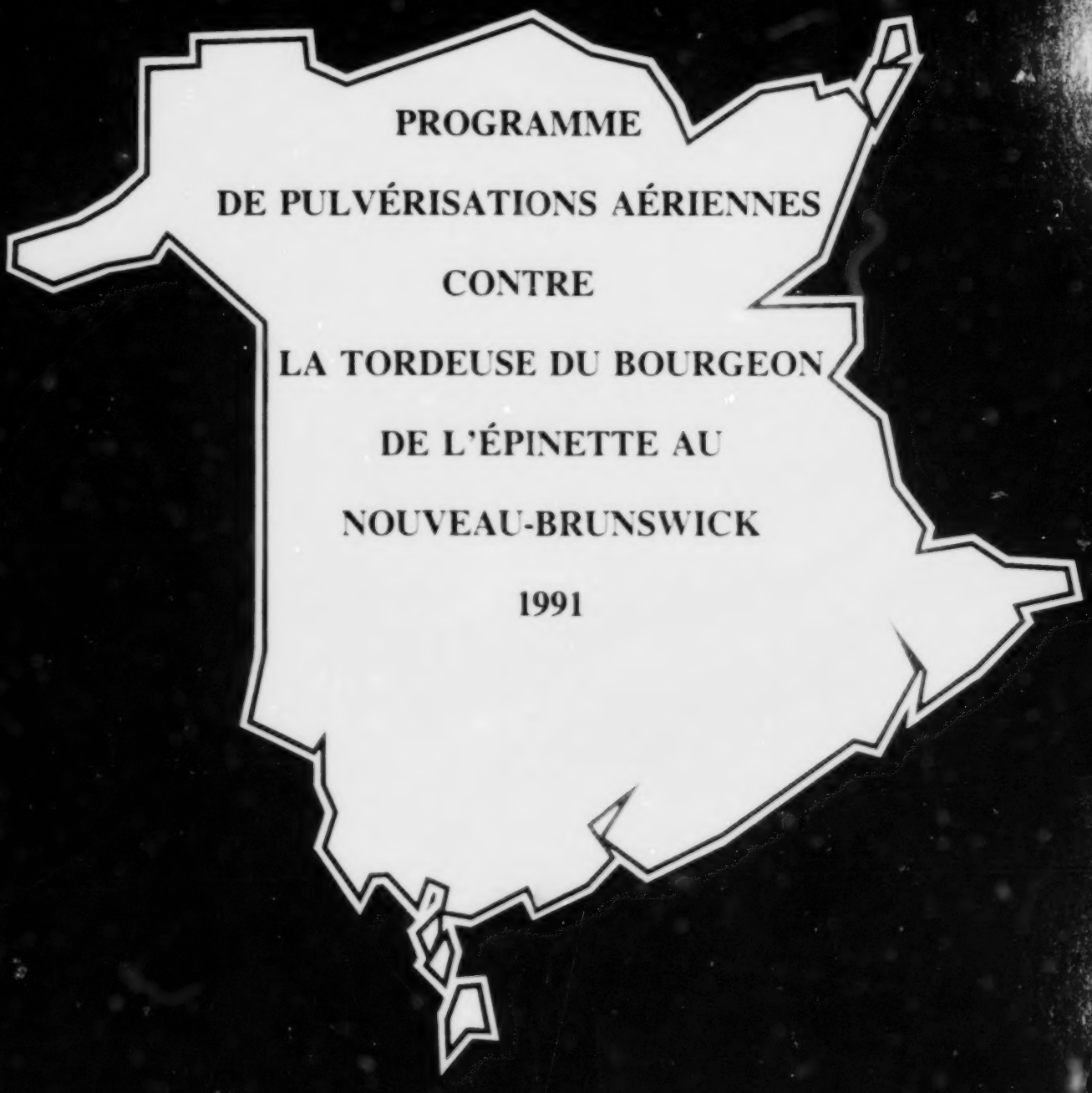


Figure A2. Comparison between 1991 B.t. results with (A) and without (B) "bad" weather data to results from 1988, 1989 and 1990.

New Nouveau
Brunswick

PROGRAMME
DE PULVÉRISATIONS AÉRIENNES
CONTRE
LA TORDEUSE DU BOURGEON
DE L'ÉPINETTE AU
NOUVEAU-BRUNSWICK
1991



Natural Resources & Energy
Ressources naturelles et Énergie

PROGRAMME DE PULVÉRISATIONS AÉRIENNES CONTRE LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE AU NOUVEAU-BRUNSWICK

1991

Nelson E. Carter et Dan R. Lavigne
Direction de l'aménagement du bois
Section de la gestion des parasites de la forêt
Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie
Fredericton, Nouveau-Brunswick

1992

L'honorable Alan Graham
Ministre

Mavis Hurley
Sous-ministre

SOMMAIRE

En 1991, la Forest Protection Limited (FPL) a effectué la pulvérisation aérienne d'insecticides sur une superficie de 288 150 ha de forêts du Nouveau-Brunswick infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette [Choristoneura fumiferana (Clem.)]. Cet arrosage équivaut à une diminution de 45,9 p. 100 par rapport à la superficie traitée en 1990, qui était de 533 200 ha. La J. D. Irving Limited a en outre traité une zone de 30 404 ha de ses propres terres en tenure libre, comparativement à 28 600 ha en 1990.

Parmi l'ensemble de la région traitée par la FPL, 61,3 p. 100 des terres ont été soumises à un double arrosage d'insecticide chimique, le fénitrothion (Sumithion); 29,0 p. 100 ont reçu un double arrosage d'insecticide bactérien [Bacillus thuringiensis var. kurstaki (B.t.)] sous forme de trois produits, notamment le Futura XLV-HP, le Dipel 64AF et le Foray 48B; 3,1 p. 100 ont reçu un seul arrosage de B.t. (Futura XLV-HP), et 6,6 p. 100 ont reçu un seul arrosage de fénitrothion suivi d'un épandage de B.t.

Les avions-citernes comprenaient : deux aéronefs T.B.M. munis d'atomiseurs de modèle Sergonair à vitesse rotative constante, sept aéronefs T.B.M. munis d'une flèche et de diffuseurs, et huit petits avions-citernes monomoteurs (PACM) munis d'atomiseurs rotatifs Micronair AU4000. Les difficultés mécaniques éprouvées avec le pompage du B.t. dans les aéronefs T.B.M. munis d'atomiseurs Sergonair ont limité la superficie de la zone traitée avec cette combinaison aéronef / insecticide et nous ont empêchés d'évaluer ce traitement.

Le programme avait comme objectif de maintenir la défoliation du feuillage du sapin baumier [Abies balsamea (L.) Mill.] de l'année en cours à 40 p. 100 ou moins, et celle de l'épinette rouge et de l'épinette noire [Picea rubens Sarg. — P. mariana (Mill.) B.S.P.] à 50 p. 100 ou moins.

Dans l'ensemble, le programme de protection a été caractérisé par: 1) l'utilisation d'un insecticide chimique; 2) trois marques de B.t.; 3) certains traitements comportant un premier de fénitrothion et un second, de B.t.; 4) quatre types d'avions-citernes; et 5) trois types de matériel de pulvérisation. Au total, on a réalisé 17 échantillons mettant en jeu diverses combinaisons d'aéronef / matériel / traitement insecticide. Dans nombre de ces combinaisons, les dimensions des échantillons étaient trop réduites pour qu'on puisse tirer des conclusions solides sur les différences en fait de protection du feuillage entre les traitements. En conséquence, les données ont été regroupées en trois traitements principaux : i) double arrosage de fénitrothion à raison de 210 g/ha par des aéronefs T.B.M. munis de flèches et de diffuseurs, ou par des Sergonairs ou des PACM munis d'atomiseurs Micronair; ii) double arrosage de Futura XLV-HP ou de Dipel 64AF à raison de 15 MUI/ha à l'aide de PACM munis d'atomiseurs Micronair; et iii) traitement séquentiel au fénitrothion faisant l'objet d'un seul arrosage à raison de 210 g/ha, suivi quelques jours plus tard d'un arrosage de Futura XLV-HP ou de Dipel 64AF à raison de 15 MUI/ha.

Les résultats en fait de protection du feuillage ont été évalués d'après la densité larvaire avant l'arrosage et les niveaux courants de défoliation par rapport aux objectifs de défoliation. L'influence éventuelle des délais opérationnels (c.-à-d. le temps compris entre le

moment où le quadrat était jugé prêt pour le traitement et le moment où le traitement était terminé) et des conditions climatiques après l'arrosage sur les résultats au niveau de la protection du feuillage a également été étudiée. Le dépôt d'insecticide, facteur déterminant dans l'efficacité de l'arrosage, n'est pas couramment mesuré dans le cadre des opérations. Par conséquent, les résultats en matière de protection du feuillage indiquent ce qui s'est produit, mais n'expliquent pas complètement pourquoi.

L'analyse des données a révélé des améliorations générales dues au traitement et elle a montré des différences dans les niveaux de protection offerte par chaque traitement. Les arbres compris dans les transects traités au fénitrothion présentaient une meilleure protection du feuillage que les arbres soumis au traitement au B.t. ou au traitement séquentiel au fénitrothion suivi de B.t. La protection du feuillage obtenue par le traitement séquentiel s'est révélée moins bonne dans l'ensemble, mais elle s'est avérée prometteuse lorsque les données ont été stratifiées par délais. Le pourcentage des sapins baumiers échantillonnés satisfaisant à l'objectif de défoliation a été de 64 p. 100 dans le cas du traitement au fénitrothion, de 45 p. 100 dans le cas du traitement au B.t. et de 28 p. 100 dans le cas du traitement au fénitrothion séquentiel suivi de B.t. Par contre, seulement 20 p. 100 des sapins des transects non traités ont présenté des proportions de défoliation en deçà de l'objectif.

L'analyse de la régression dans le cas du traitement séquentiel n'a pas révélé une relation suffisante entre la défoliation finale et les densités larvaires avant l'arrosage. La régression dans le cas des traitements au B.t. et au fénitrothion a indiqué que la défoliation avait dépassé l'objectif de protection du feuillage avec des densités larvaires supérieures à 0,16 et 0,21 larve / bourgeon respectivement. Les moyennes générales de défoliation finale de l'année en cours ont été de 35,3 p. 100, 47,7 p. 100 et 68,2 p. 100, dans le cas du traitement au fénitrothion, au B.t. et du traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t., respectivement, comparativement à 72,2 p. 100 dans les placettes témoins. La mortalité larvaire moyenne due aux insecticides a été de 63 p. 100 dans le cas du traitement au fénitrothion, de 55 p. 100 dans le cas du traitement au B.t. et de 55 p. 100 dans le cas du traitement séquentiel.

Lorsque les données ont été stratifiées en fonction des conditions climatiques «favorables» ou «défavorables» (environ 50 mm de pluie), 24 heures après l'arrosage, les différences ont été évidentes. La protection du feuillage s'est avérée meilleure avec des conditions climatiques «favorables» contre les conditions climatiques «défavorables» dans le cas des traitements au fénitrothion et au B.t.; les résultats du traitement au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables» se sont avérés les meilleurs dans l'ensemble. On en a déduit que les délais entre les arrosages, le mode d'action simple du B.t., ou le dépôt en quantité ou en qualité insuffisantes avaient probablement causé l'efficacité insatisfaisante du traitement des placettes arrosées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables». Ces facteurs n'ont apparemment pas nui au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables».

Après avoir éliminé les données des conditions climatiques «défavorables», on a étudié l'effet combiné des délais et de la mortalité larvaire. Les deux arrosages de fénitrothion et de B.t. ont respectivement nécessité 14 et 15 jours. Le processus a correspondu à une crête du développement lavaire entre le troisième et le cinquième stade. En général, les données ont laissé supposer que des niveaux acceptables de protection pouvaient survenir au cours de cette période à condition que la mortalité larvaire soit de ≥ 50 p. 100 dans le cas des populations à densités faible et moyenne, ou de ≥ 75 p. 100 dans le cas des populations à densités élevée et extrême. Il faut probablement prévoir des exceptions par suite des effets sous-optimaux de l'un des arrosages ou des deux. La probabilité de succès a été supérieure avec le fénitrothion vu qu'une mortalité larvaire ≥ 50 p. 100 ou ≥ 75 p. 100 est survenue plus fréquemment qu'avec le B.t.

Dans le cas du traitement séquentiel au fénitrothion suivi de B.t., les délais avant arrosage du B.t., ou les dépôts inconnus dans le cas de l'un ou des deux arrosages ont semblé avoir nui au succès global de cette combinaison. Des résultats acceptables ont été enregistrés lorsque les deux traitements ont été appliqués en deçà de sept jours de l'ouverture des quadrats, et des résultats positifs ont été enregistrés au bout de 11 jours. Après 17 jours, cependant, les résultats n'ont pas été concluants. Cette combinaison de traitements justifie d'autres essais et relevés susceptibles de mener à une approche intégrée acceptable pour l'utilisation de ces deux insecticides.

Les résultats obtenus avec le Foray 48B ont été similaires à ceux obtenus avec le Futura XLV-HP et le Dipel 64AF, mais seulement un quadrat de 800 ha a été traité et l'échantillonnage a été limité.

L'étude aérienne de la défoliation a révélé 35 000 ha de légère défoliation, 132 000 ha de défoliation modérée et 134 000 ha de défoliation grave. Environ 65,4 p. 100 de la défoliation modérées et grave de la province est survenue à l'extérieur des zones traitées. En ce qui concerne les projections de 1991 en fait de populations modérées à élevées, 28,9 p. 100 de la superficie traitée au fénitrothion, 41,9 p. 100 de la superficie traitée au B.t. et 28,8 p. 100 de la superficie ayant été soumises à un traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t. ont présenté des défoliations modérées et graves. Dans l'ensemble, 31,9 p. 100 de la superficie traitée a présenté des défoliations modérées et graves.

On prévoit pour 1992 que des populations modérées à élevées se manifesteront sur une superficie de 0,62 million d'hectares. Les populations des secteurs ayant eu des populations variables l'année dernière ont fléchi ou sont devenues plus uniformes avec des populations légèrement plus élevées cette année. Les secteurs à populations modérées à élevées ont baissé de 20 p. 100 par rapport à l'année dernière et l'infestation totale a diminué de 38 p. 100. Les zones infestées sont principalement situées dans le nord du Nouveau-Brunswick, quelques grandes plaques subsistant ailleurs dans la province. Dans la moitié sud de la province, à l'exception d'une zone isolée au nord-ouest de Moncton, aucun dommage important n'est prévu, la tendance faible de ces dernières années se maintenant.

REMERCIEMENTS

Les connaissances spécialisées, la conscience professionnelle et la fierté face à son travail sont des qualités indispensables pour choisir le moment opportun et évaluer pertinemment un programme d'arrosage d'envergure. Les données et les renseignements que renferme le présent rapport sont le fruit des efforts consciencieux des membres du personnel du MRNE suivants : M. Lester Hartling, M. Wilf Patterson, M^me^ Janet Proude, M. Danny O'Shea, M. Ross Farquhar, M. Robert MacGregor, M. Peter MacNutt, M. Greg Simpson et M. Carroll Cameron. Leur tenacité au travail et l'aide obtenue de nombreux employés d'été sont grandement appréciées.

Les commentaires et les suggestions constructifs de M. L. Hartling (MRNE), de M. D. Davies et de M. P. Amirault (Forest Protection Ltd.), du D^r^ D. Quiring (Université du Nouveau-Brunswick) ainsi que de M. E. Kettela et du D^r^ J. Sweeney (Forêts Canada — Maritimes) formulés dans une version préliminaire du présent rapport ont été grandement appréciés.

Nous remercions tout spécialement M^me^ Janet Lynch de la patience dont elle a fait preuve en tapant les nombreuses versions préliminaires et la version finale.

TABLE DES MATIÈRES

		Page
SOMMAIRE		i
	REMERCIEMENTS	iv
	LISTE DES TABLEAU	vi
	LISTE DES FIGURES	vii
INTRODUCTION		
1.	RENSEIGNEMENTS RELATIFS AUX TRAITEMENTS	
	1.1 Superficie traitée	1
	1.2 Insecticides	1
	1.3 Avion-citerne / Matériel / Insecticide	1
	1.4 Logistique opérationnelle	4
2.	RELEVÉS ET ÉVALUATIONS	
	2.1 Échantillonnage du développement — Critères biologiques relatifs au choix du moment des arrosages d'insecticides	5
	2.2 Échantillonnage des populations larvaires avant arrosage	6
	2.3 Échantillonnage du développement larvaire après arrosage	6
	2.4 Relevés sur la défoliation	7
	2.5 Le relevé L2	7
3.	VUE D'ENSEMBLE DES DÉGÂTS CAUSÉS PAR LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE EN 1991	
	3.1 Relevé aérien de la défoliation	8
4.	EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS	
	4.1 Objectifs en fait de protection	10
	4.2 Facteurs influençant les résultats de la protection du feuillage	10
	4.3 Résultats des traitements	17
	4.3.1 Vue d'ensemble	17
	4.3.2 Effet des conditions climatiques après arrosage	22
	4.3.3 Effet des délais	26
	4.3.4 Traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t.	33
	4.3.5 Traitement au Foray 48B	34
	4.3.6 Évaluation aérienne	35
5.	PRÉVISIONS D'INFESTATION POUR 1992	37
6.	CONCLUSIONS	
	6.1 Superficie traitée	40
	6.2 Efficacité du programme	40
	6.3 Prévisions	42
RÉFÉRENCES		43
ANNEXES		44

LISTE DES TABLEAUX

		Page
Tableau 1.	Traitements appliqués par la Forest Protection Limited en vue de la protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, en 1991. (Ne comprend pas le programme de la J. D. Irving Ltd.).	2
Tableau 2.	Zones de défoliation due à la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, de 1975 à 1991.	8
Tableau 3.	Développement larvaire et développement des pousses de l'arbre hôte (enregistrés dans une ou plusieurs placettes de développement) au moment où les quadrats étaient ouverts pour le traitement et la réalisation de tous les arrosages.	12
Tableau 4.	Sommaire des températures maximales et minimales (°C) à différentes stations météorologiques (Dickison, 1991).	15
Tableau 5.	Sommaire des précipitations quotidiennes (mm) à différentes stations météorologiques (Dickison, 1991).	15
Tableau 6.	Densité larvaire moyenne, mortalité des larves et défoliation courantes des sapins baumiers des transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	19
Tableau 7.	Moyennes, erreurs courantes et résultats non paramétriques [Kruskal-Wallis; essai sur deux échantillons Wilcoxon (P<0,05)] relatifs à des traitements à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	23
Tableau 8.	Résultats du traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t. d'après les délais insérés entre l'ouverture des quadrats à traiter et le deuxième arrosage.	35
Tableau 9.	Sommaire des zones à défoliation modérée et grave à l'intérieur de la superficie traitée au Nouveau-Brunswick, en 1991.	36
Tableau 10.	Comparaison des niveaux d'infestation estimatifs de tordeuses des bourgeons de l'épinette, de 1981 à 1991.	37
Tableau 11.	Comparaison des superficies (ha) prévues l'année N (1982-1991) des secteurs qui auront des populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette modérées et élevées l'année N+1.	38

LISTE DES FIGURES

		Page
Figure 1.	Zones traitées par la Forest Protection Limited pour la protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick en 1991. (Ne comprend pas le programme de la J. D. Irving Ltd.).	3
Figure 2.	Zones de défoliation légère, modérée et grave causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick en 1991.	9
Figure 3.	Prévisions régionales visant des populations de tordeuse des bourgeons de l'épinette variables (de faibles à élevées) et modérées à élevées, au Nouveau-Brunswick, en 1991 (Carter et Lavigne, 1991).	11
Figure 4.	Emplacement des stations météorologiques de surveillance (P1-P4; S1-S3) par rapport aux zones traitées contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, en 1991.	14
Figure 5.	Répartition des populations larvaires avant arrosage dans les transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	16
Figure 6.	Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage, le taux de mortalité larvaire (A) et le taux de défoliation courant (B) dans les transects non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	18
Figure 7.	Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les transects non traités et traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	20
Figure 8.	Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations des transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É, dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.	24
Figure 9.	Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations dans les placettes traitées au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).	27

LISTE DES FIGURES (cont.)

		Page
Figure 10.	Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations dans les placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).	28
Figure 11.	Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les placettes traitées au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).	29
Figure 12.	Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).	30
Figure 13.	Relations entre la défoliation, les délais et la mortalité corrigée dans le cas des traitements au fénitrothion et au B.t., en 1991.	31
Figure 14.	Régions où l'on prévoit des populations de tordeuse des bourgeons de l'épinette modérées à élevées, au Nouveau-Brunswick, en 1992.	39

PROGRAMME DE PULVÉRISATIONS AÉRIENNES CONTRE LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE AU NOUVEAU-BRUNSWICK - 1991

On a traité en 1991 certains peuplements de forêts infestés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette du Nouveau-Brunswick par arrosage aérien pour en protéger le feuillage. Des insecticides chimiques et biologiques ont alors été utilisés. Les intéressés trouveront des renseignements sur ces activités dans le rapport du programme de 1991 (1991 PROGRAM REPORT) préparé par la Forest Protection Limited (Davis, 1991).

Ce rapport résume le programme de protection; il décrit les relevés opérationnels réalisés, et il fournit des analyses des niveaux de protection du feuillage atteints. Des prévisions sur l'infestation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette envisagée pour 1992 sont également présentées.

1. RENSEIGNEMENTS RELATIFS AUX TRAITEMENTS

1.1 Superficie traitée

En 1991, on a épandu de l'insecticide par voie aérienne au Nouveau-Brunswick sur 288 150 ha de terres forestières infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Tableau 1; Figure 1), ce qui représente une superficie de 45,9 p. 100 inférieure aux 533 200 ha traités en 990 (Carter et Lavigne, 1991). La Forest Protection Limited (FPL) a planifié et mis en oeuvre la logistique de l'arrosage. La J. D. Irving Limited a en outre traité une superficie de 30 404 ha de ses propres terres en tenure libre, comparativement à 28 600 ha en 1990.

1.2 Insecticides

Les insecticides employés en 1991 (Tableau 1) comprennent : l'insecticide chimique fénitrothion (Sumithion) et trois marques d'insecticides biologiques contenant le Bacillus thuringiensis var. kurstaki (B.t.)], notamment le Futura XLV-HP, le Dipel 64AF et le Foray 48B. On a eu recours à divers taux d'application (Tableau 1). Environ les 61,3 p. 100 de la superficie traitée ont été soumis à un double arrosage de fénitrothion; les 29,0 p. 100, à un double arrosage de B.t.; les 3,1 p. 100, à un arrosage de B.t. (Futura XLV-HP), et les 6,6 p. 100 restants, à un seul arrosage de fénitrothion suivi d'un arrosage de B.t.

1.3 Avions-citernes / Matériel / Insecticide

Les avions-citernes ont compris : deux aéronefs T.B.M.[a] munis de prototypes d'atomiseurs rotatifs Sergonair commandés électriquement; sept aéronefs T.B.M. munis de flèches et de diffuseurs; et huit petits avions-citernes monomoteurs (PACM)[b] munis d'atomiseurs rotatifs éoliens Micronair AU4000. Dans le cas des PACM, on a eu recours à une «technique de pulvérisation améliorée» qui a permis de calibrer le débit de chaque atomiseur rotatif Micronair AU4000 à environ 2 L/min/unité afin de produire des gouttelettes plus fines. Grâce à la capacité (MUI/L) des produits à base de B.t., les PACM ont pu arrosé du B.t. non

---

[a] T.B.M. — Aéronef Grumman Avenger (Torpedo Bomber Medium range).

[b] PACM — Petit avion-citerne monomoteur = AgCat 600, Thrush 600, Cessna 188.

Tableau 1. Traitements appliqués par la Forest Protection Limited en vue de la protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, en 1991. (Ne comprend pas le programme de la J. D. Irving Ltd.).

Traitement*	Superficie totale (ha x 10^2)	Pourcentage de la superficie totale	Type d'aéronef*
<u>Un arrosage — Insecticide biologique</u>			
30 MUI FXLV-HP/0,90 L/ha	9,0	(3,1)	TBM/b
<u>Deux arrosages — Insecticide biologique</u>			
15 MUI FXLV-HP/0,45 L/ha + 15 MUI FXLV-HP/0,45 L/ha	72,0	(25,0)	PACM, TBM/s
15 MUI D-64AF/0,89 L/ha + 15 MUI D-64AF/0,89 L/ha	10,6	(3,7)	PACM
15 MUI F-48B/1,18 L/ha + 15 MUI F-48B/1,18 L/ha	0,8	(0,3)	PACM
TOTAL PARTIEL	83,4	(29,0)	
TOTAL PARTIEL INSECTICIDE BIOLOGIQUE SEULEMENT	92,4	(32,1)	
<u>Deux arrosages — Insecticides chimiques</u>			
210 g de fén./1,46 L/ha + 210 g de fén./1,46 L/ha	141,2	(49,0)	TBM/b
210 g de fén./0,44 L/ha + 210 g de fén./0,44 L/ha	27,9	(9,7)	PACM, TBM/s
210 g de fén./1,46 L/ha + 210 g de fén./0,44 L/ha	7,6	(2,6)	TBM/b, PACM
TOTAL PARTIEL INSECTICIDE CHIMIQUE SEULEMENT	176,7	(61,3)	
<u>Un arrosage chimique + un arrosage biologique</u>			
210 g de fén./1,46 L/ha + 15 MUI FXLV-HP/0,45 L/ha	10,0	(3,5)	TBM/b, PACM
210 g de fén./0,44 L/ha + 15 MUI FXLV-HP/0,45 L/ha	8,4	(2,9)	TBM/s, PACM
210 g de fén./1,46 L/ha + 15 MUI D-64AF/1,18 L/ha	0,7	(0,2)	TBM/b, PACM
TOTAL PARTIEL INSECTICIDES CHIMIQUES + BIOLOGIQUES	19,1	(6,6)	
TOTAL	288,2	(100,0)	

FXLV-HP = Foray FXLV HP (30,8 MUI/L)
D-64AF = Dipel 64AF (16,9 MUI/L)
F-48B = Foray 48B (12,7 MUI/L)
ha. = Hectare(s)

TBM/b = TBM muni de lames + déflecteurs
TBM/s = TBM muni d'un atomiseur Beecomist
PACM = petit avion-citerne muni d'un atomiseur Micronair AU4000

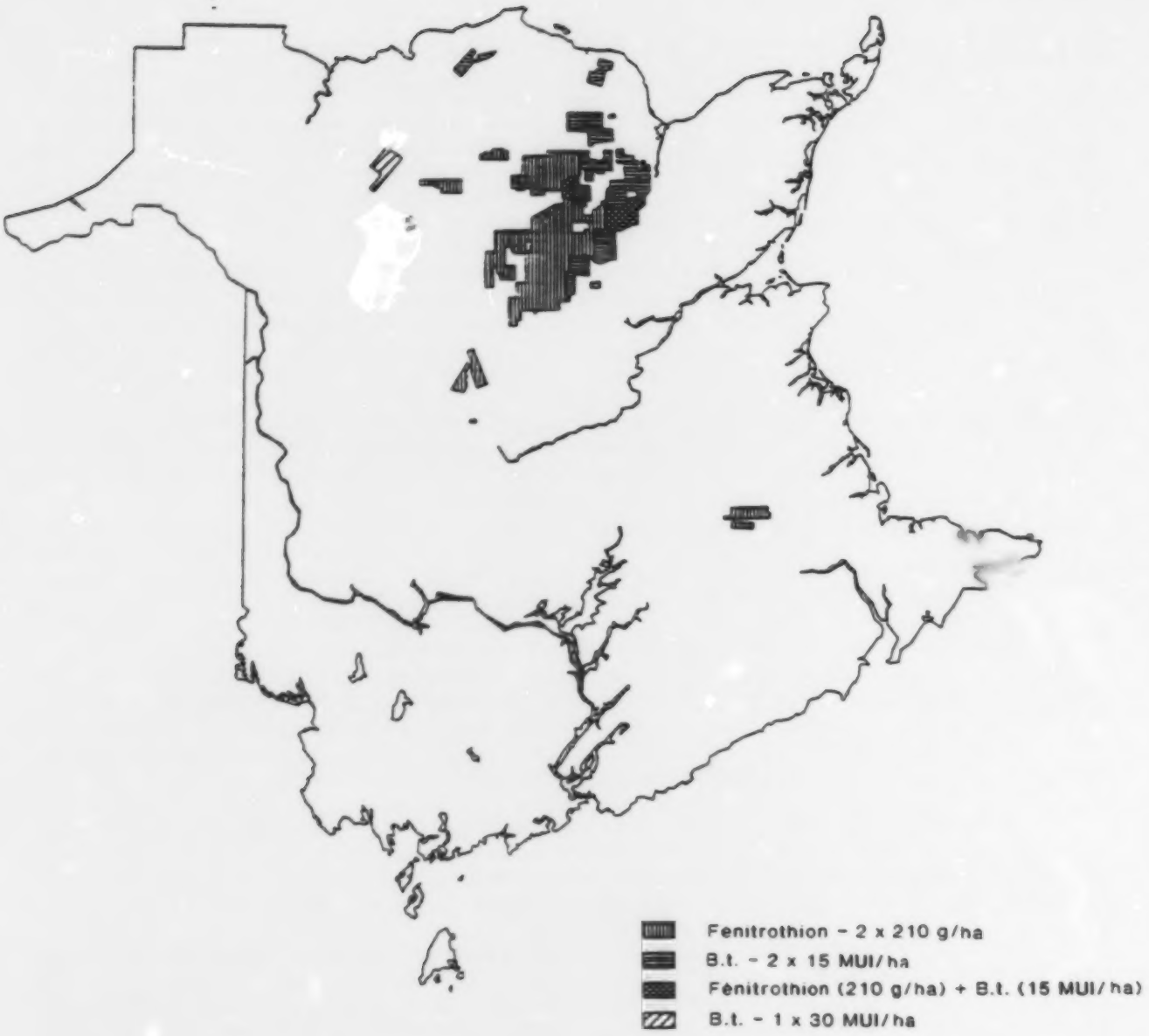


Figure 1. Zones traitées par la Forest Protection Limited pour la protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick en 1991. (Ne comprend pas le programme de la J. D. Irving Ltd.).

dilué à la moitié du débit normal (c.-à-d. à raison de 15 au lieu de 30 MUI/ha) en réduisant le volume/ha total. Les atomiseurs Sergonair ont permis l'arrosage des insecticides à des volumes extrêmement bas (0,4 L/ha), similaires au volume appliqué par les PACM utilisant des atomiseurs Micronair AU4000, mais selon un spectre de gouttelettes plus constantes et plus petites en raison de leur vitesse de rotation plus élevée et plus constante.

De la superficie totale traitée, une proportion de 52,8 p. 100 a été traitée au fénitrothion arrosé par des aéronefs T.B.M. munis de flèches et de diffuseurs; une proportion de 2,6 p. 100 a été arrosée au fénitrothion par des aéronefs T.B.M. munis d'atomiseurs Sergonair; 10,2 p. 100 a été arrosée au fénitrothion par des PACM; 1,6 p. 100 a été traitée par des aéronefs T.B.M. munis de flèches et de diffuseurs; 0,7 p. 100 a été traitée par des aéronefs T.B.M. munis d'atomiseurs Sergonair; et 32,1 p. 100 a été arrosée au B.t. par des PACM.

Dans l'ensemble, le programme de protection a été caractérisé par l'utilisation: 1) de quatre types différents d'aéronefs; 2) de trois types de matériel d'arrosage; 3) d'un insecticide chimique; 4) de trois marques d'insecticides biologiques (B.t.); et 5) de traitements comportant un premier arrosage au fénitrothion et un second au B.t. De même, les aéronefs employés dans le premier arrosage n'ont pas nécessairement été les mêmes que ceux utilisés dans le deuxième arrosage de la même zone. À l'intérieur des zones évaluées, on a fait appel à un total de 17 combinaisons d'aéronef/matériel/traitement insecticide.

1.4 Logistique opérationnelle

Les températures maximales et minimales obtenues des diverses stations météorologiques de la province ont permis au ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie (MRNE) de surveiller l'accumulation régionale des degrés-jours (seuil de 3 °C) à compter du 1er avril. En outre, des équipes itinérantes du MRNE ont évalué le développement larvaire et le développement des pousses des arbres hôtes à l'intérieur et autour des zones visées par le traitement. S'appuyant sur ces renseignements, le MRNE a avisé la FPL lorsque des quadrats de traitement étaient biologiquement prêts pour l'arrosage.

Les premiers quadrats à traiter aux insecticides chimiques ou au B.t. ont été déclarés biologiquement prêts pour le traitement (c.-à-d. ouverts) respectivement le matin du 28 mai et le soir du 30 mai. Le 8 juin, tous les quadrats étaient prêts pour le traitement.

Les conditions climatiques défavorables ont retardé le premier arrosage d'insecticides chimiques jusqu'au matin du 30 mai. On a commencé l'arrosage de B.t. le soir du 30 mai. Les premiers arrosages de fénitrothion et de B.t. ont été respectivement terminés les 6 et 9 juin. Les derniers arrosages des deux insecticides ont pris fin l'avant-midi du 16 juin.

2. RELEVÉS ET ÉVALUATIONS

Les relevés ayant permis de déterminer le moment des arrosages et d'évaluer les résultats au niveau de la protection du feuillage ont été semblables à ceux signalés dans le cadre des autres programmes de protection contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick (Carter, 1988; 1990).

2.1 Échantillonnage du développement — Critères biologiques relatifs au choix du moment des arrosages d'insecticides

Avant le traitement, des lieux d'échantillonnage ont été établis dans les peuplements susceptibles d'abriter la tordeuse des bourgeons, à l'intérieur ou à proximité de quadrats désignés. À chaque emplacement, de trois à cinq arbres hôtes ont fait l'objet d'échantillonnages périodiques (un rameau de 45-cm à mi-hauteur de la cime par arbre) aux fins de l'évaluation du développement des insectes et des pousses des arbres hôtes.

Parrallèlement, un observateur qualifié a effectué des vols de reconnaissance à basse altitude afin d'observer la progression de l'éclosion des pousses des sapins baumiers et des autres essences dans les zones à traiter. On a conjointement évalué les observations aériennes et les observations au sol afin de déterminer le moment où les quadrats étaient biologiquement prêts (ouverts) pour le traitement.

Comme par le passé, les zones à traiter au fénitrothion ont été considérées biologiquement prêtes lorsque les échantillons de sapin baumier répondaient aux critères suivants :

— La majorité des tordeuses des bourgeons en sont à leur troisième stade larvaire; toutes les larves de tordeuses des bourgeons se nourrissent dans les pousses ou les fleurs; et les pousses des catégories 3 et 4 (c.-à-d. les aiguilles exposées sur les nouvelles pousses, ou les bourgeons commençant à éclore) (Dorais et Kettela, 1982);

et dans les quadrats composés substantiellement d'épinettes rouges et d'épinettes noires, lorsque les échantillons d'épinettes répondaient aux critères suivants :

— La majorité des tordeuses des bourgeons en sont à leur troisième stade larvaire; toutes les larves ont migré des galeries creusées dans les vieilles aiguilles et commencent à faire de la soie à l'extérieur des bourgeons, ou commencent à y percer des tunnels.

Les zones à traiter au B.t. ont été considérées biologiquement prêtes lorsque les échantillons de sapin baumier répondaient aux critères suivants :

— La majorité des tordeuses des bourgeons en sont à leur troisième stade larvaire ou l'ont dépassé; les larves de la tordeuse des bourgeons se nourrissent dans les pousses ou les fleurs; et les pousses des catégories 4 et 5 (c.-à-d. la majorité des pousses commençant à éclore ou complètement écloses) (Dorais et Kettela, 1982).

En 1991, 137 emplacements de développement ont été établis et un total de 493 échantillons de développement ont été prélevés en vue de déterminer le moment des arrosages.

2.2 Échantillonnage des populations larvaires avant arrosage

Après l'apparition complète des larves et avant le traitement, on a établi des placettes afin d'évaluer les populations larvaires avant l'arrosage. Les placettes ont été réparties dans toutes les zones de contrôle traitées et non traitées selon un ratio de cinq arbres par placette (certaines placettes comptaient dix arbres). Un rameau de 45 cm à mi-hauteur de la cime a été prélevé sur chaque arbre. L'échantillonnage avant arrosage a été réalisé du 21 au 27 mai. L'indice larvaire[4] se situait alors entre 2,5 et 3,0.

Dans un laboratoire de Fredericton, on a déterminé les populations larvaires avant arrosage en dénombrant les larves et les bourgeons ou les pousses sur chaque échantillon de branche. On a ensuite pu exprimer les populations en nombre de larves par branche ou en nombre de larves par bourgeon aux fins d'évaluation de la protection du feuillage en fonction des densités larvaires avant arrosage.

On a également réalisé un échantillonnage avant arrosage et un dénombrement des larves supplémentaires sur place dans un certain nombre de quadrats ayant révélé au cours de l'échantillonnage préparatoire qu'ils comportaient de faibles populations larvaires. Ces renseignements servent à supprimer les zones proposées de l'arrosage lorsque la densité larvaire est faible. En 1991, l'échantillonnage n'a pas révélé de zones à densité larvaire suffisamment faible pour annuler un traitement proposé. Ces données ont toutefois permis d'opter pour un seul arrosage de Futura FXLV-HP à raison de 30 MUI/ha dans un quadrat de 9 000 ha lorsque des problèmes avec les systèmes de pompage dans des aéronefs T.B.M. munis d'atomiseurs Sergonair ont indiqué que le traitement à raison de 2 x 15 MUI/ha ne pourra être réalisé à l'aide de ces aéronefs.

2.3 Échantillonnage du développement larvaire après arrosage

L'échantillonnage s'est poursuivi après le début des traitements afin de surveiller le nombre et le développement des insectes (stage larvaire au stade nymphal), et d'évaluer la défoliation des aiguilles de l'année courante. Des arbres hôtes ont été échantillonnés à des emplacements de développement préétablis, ainsi qu'à d'autres emplacements.

Le dénombrement des larves après arrosage et les données sur leur développement ont permis de décider si le deuxième arrosage d'insecticide était nécessaire, ou si le traitement devait être interrompu en raison de la faible densité larvaire ou du développement larvaire avancé et des dégâts causés par l'activité nutriciale. Selon les renseignements recueillis au cours de la période d'échantillonnage après arrosage, aucun deuxième arrosage prévu n'a été annulé.

---

[4] Indice larvaire = [(nombre d'insectes au deuxième stade larvaire x 2) + (nombre d'insectes au troisième stade larvaire x 3) + ... + (nombre de nymphes x 7)] + nombre total d'individus

Les données sur la pupation et la fin de l'activité nutriciale ont servi à déterminer le moment où commencer les relevés aériens et les relevés au sol sur la défoliation des arbres.

2.4 Relevés sur la défoliation

Une fois l'arrosage aérien et l'activité nutriciale terminés, l'étendue et la gravité de la défoliation partout dans la province ont été étudiées du haut des airs. Survolant les forêts selon des lignes de vol est-ouest distantes d'environ 5 km, à une altitude de 150 à 300 m, des observateurs aériens qualifiés à bord de Cessna 172 munis d'appareil de navigation Loran C, ont évalué et délimité les zones de défoliation légères, modérées et graves sur des cartes à l'échelle de 1 cm/1,9 km (1 po = 3 mi). On n'a pas essayé d'évaluer la défoliation aérienne sur un quadrat en particulier.

Les taux finals de défoliation et de survivance de la tordeuse des bourgeons dans les placettes traitées et non traitées ont été établis à l'aide d'un relevé au sol. L'indice larvaire au moment de l'échantillonnage était d'environ 6,8 à 7,0 (c.-à-d. à prédominance de prénymphes et de nymphes). Un rameau de 45-cm à mi-hauteur de la cime a été prélevé sur les mêmes arbres échantillonnés au cours du relevé des populations larvaires avant l'arrosage. On a dénombré sur le terrain le nombre d'insectes survivants par branche. On a classifié en laboratoire, les niveaux de défoliation (Fettes, 1950) en estimant le nombre d'aiguilles perdues sur 50 pousses de l'année courante par branche. Lorsqu'une branche comptait moins de 50 pousses de l'année courante, les pousses manquantes étaient évaluées sur une deuxième branche du même arbre.

2.5 Le relevé L2

Depuis 1985, le relevé des larves hivernantes, ou «relevé L2», a été adopté comme méthode de prévision de la répartition et de l'intensité de la pullulation des tordeuses des bourgeons pour l'année suivante. En général, on réalise des relevés L2 initiaux et supplémentaires. Le relevé L2 initiale (environ 1 100 à 1 500 emplacements d'échantillons) sert à produire une carte de prévision en vue de la sélection des zones à protéger. Pendant les mois d'hiver, on rajoute à ces prévisions les données provenant de plusieurs centaines de lieux supplémentaires échantillonnés par le MRNE et l'industrie forestière. Au cours des deux relevés, on prélève des rameaux de 75-cm à mi-hauteur de la cime sur les arbres hôtes des peuplements susceptibles d'abriter des tordeuses des bourgeons partout dans la province. On traite ensuite ces rameaux en laboratoire afin de déterminer le nombre moyen de larves hivernantes (L2) par branche. Les densités des larves hivernantes ont servi à prévoir les emplacements à densité de populations faibles, modérées, élevées ou extrêmes (Dorais et Kettela, 1982).

À l'aide de cartes (1/250 000) des résultats obtenus du relevé L2 initial, des zones comptant des nombres constants d'emplacements échantillonnés contenant des populations de moyennes à extrêmes ont été délimitées à la main. Les zones non dotées de populations constantes, c.-à-d. qui contenaient une combinaison d'emplacements échantillonnés aux populations de faibles à extrêmes, seraient également délimitées à la main et classées en zones de populations variables. Aucune zone de ce genre n'a été établie en 1992.

3. VUE D'ENSEMBLE DES DÉGÂTS CAUSÉS PAR LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE EN 1991

3.1 Relevé aérien de la défoliation[a]

À la suite de plusieurs journées de vols de reconnaissance préliminaires, le relevé aérien a été amorcé le 3 juillet et il a été terminé le 5 juillet. Un vol de reconnaissance supplémentaire le 16 juillet n'a pas permis de détecter de nouvelles zones de défoliation.

L'étude aérienne a détecté 35 000 ha de défoliation légère, 132 000 ha de défoliation modérée et 134 000 ha de défoliation grave (Figure 2). La zone combinée de défoliation modérée et grave accusait une défoliation de 12 p. 100 supérieure à celle de l'année précédente (Tableau 2) en raison d'une augmentation de 47 p. 100 dans la zone de défoliation grave. Un examen des registres a révélé que la zone de défoliation modérée et grave de cette année présentait le second taux le plus bas depuis 1967. De fait, la zone de défoliation n'a été que de cinq fois inférieure à celle de 1991 depuis 1949.

Tableau 2. Zones de défoliation due à la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, de 1975 à 1991.

	CATÉGORIE DE DÉFOLIATION (hax10^3)		
Année	Légère	Modérée et Grave	Total
1975	820	3 567	4 387
1976	192	404	596
1977	123	481	604
1978	141	669	810
1979	105	1 320	1 425
1980	176	673	849
1981	135	1 221	1 356
1982	185	1 202	1 387
1983	301	2 028	2 329
1984[b]	-	730	730
1985[b]	-	1 071	1 071
1986	160	927	1 087
1987	88	430	518
1988	43	500	543
1989	67	396	463
1990	60	237	297
1991	35	266	301

[a] Données de 1975 à 1983 de Kettela (1983); reste des dossiers du MRNE
[b] Défoliation légère non enregistrée

[a] Le MRNE a effectué le relevé aérien uniquement en 1991 lorsque Forêts Canada — Maritimes a mis fin à sa participation à cette étude.

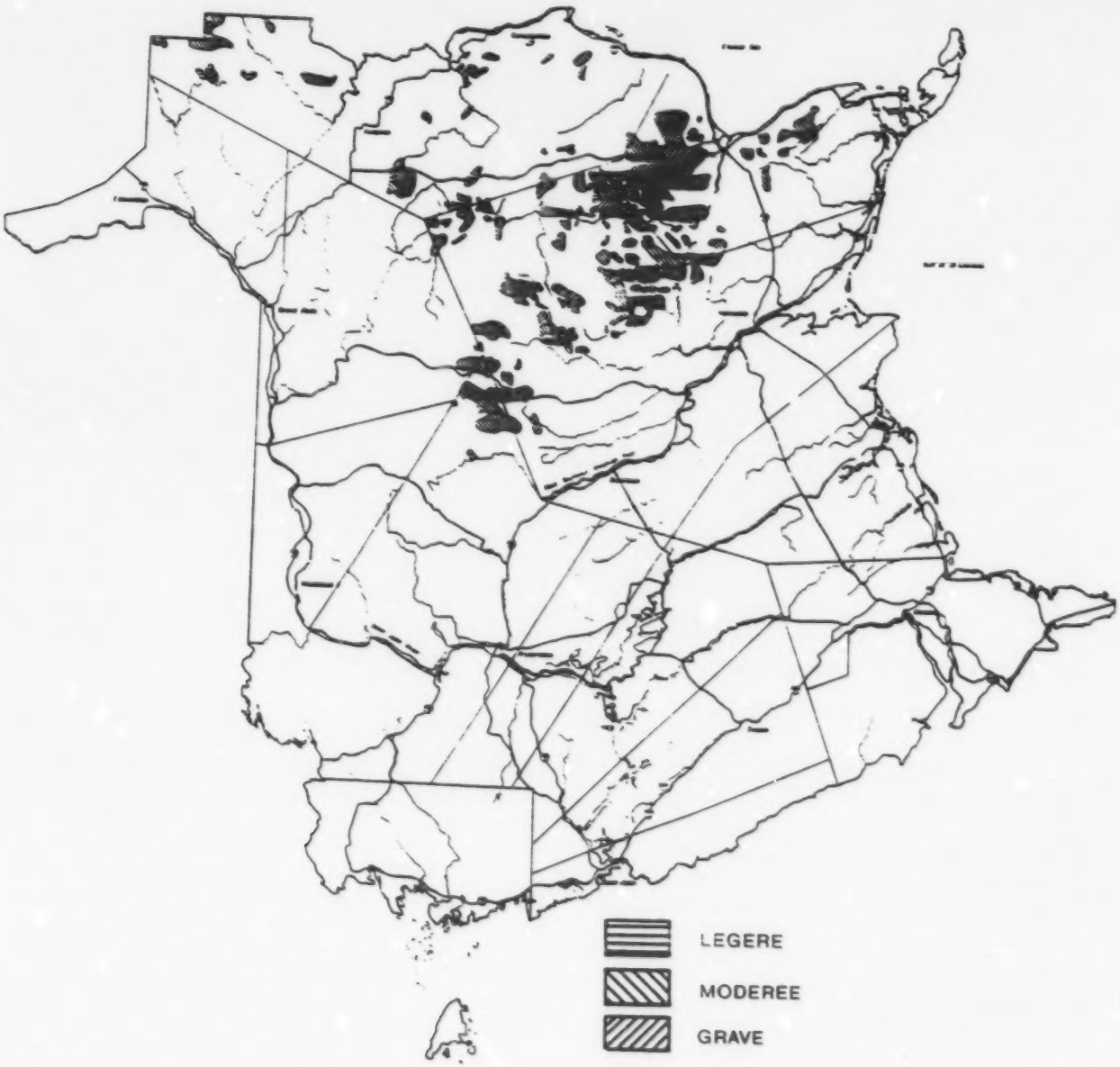


Figure 2. Zones de défoliation légère, modérée et grave causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick en 1991.

La défoliation modérée et grave a été décelée en majeure partie (68,2 p. 100) à l'intérieur de la zone des populations modérées à élevées anticipée (Figure 3), mais 12,4 p. 100 de l'ensemble de la défoliation modérée et grave s'est révélée en deçà des prévisions variables. Seulement 19,4 p. 100 de la défoliation modérée à grave décelée a surpassé les prévisions. On a également décelé des parcelles où prédominait une défoliation légère dans certaines parties du nord et du centre de la province. Les régions du sud, de l'ouest et de l'est de la province sont demeurées relativement intactes.

4. EFFICACITÉ DES TRAITEMENTS

4.1 Objectifs en fait de protection

Le programme vise à assurer la «protection du feuillage» afin de réduire la défoliation anticipée parmi les arbres hôtes, et de prévenir la mortalité des arbres. Dans le cas des arbres mûrs et surâgés, l'objectif consiste à limiter la défoliation des aiguilles de l'année courante à 40 p. 100 ou moins sur les sapins baumier, et à 50 p. 100 ou moins sur les épinettes rouges et les épinettes noires. Dans les plantations et les peuplements éclaircis, l'objectif vise à réduire la défoliation à 20 p. 100 ou moins dans les arbres hôtes. Cet objectif plus élevé en fait de protection du feuillage vise à faciliter l'accroissement de volume et à assurer la contribution escomptée de ces peuplements aux futures réserves de bois.

Lorsque les populations avant arrosage sont très ou extrêmement denses, les dégâts dépassent souvent les objectifs de protection du feuillage souhaités. Néanmoins, dans ces cas, un programme de protection est tout de même jugé fructueux si les arbres conservent un supplément de bourgeons végétatifs pour l'année suivante. En l'absence de protection, ces bourgeons végétatifs auraient été détruits.

4.2 Facteurs influençant les résultats de la protection du feuillage

Un dépôt adéquat d'insecticide dans le microhabitat larvaire et sur le feuillage avant l'activité nutriciale importante s'impose pour protéger les arbres contre la défoliation. Alors que les insecticides chimiques présentent deux modes d'action et peuvent causer la mort des larves par contact ou par ingestion, le B.t. n'offre qu'un seul mode d'action efficace, notamment par ingestion. Par conséquent, un dépôt «adéquat» (c.-à-d. un nombre suffisant de gouttelettes contenant une dose toxique) d'insecticide au moment propice est crucial pour obtenir la protection souhaitée, et les conditions climatiques après l'arrosage doivent favoriser l'activité larvaire. Malheureusement, il n'existe aucune méthode abordable pour effectuer un «essai aveugle» du dépôt d'arrosage opérationnel. Ainsi, même si la technologie d'arrosage recommandée est utilisée, elle ne garantit pas un dépôt ou des résultats pertinents. Par conséquent, les évaluations opérationnelles montrent ce qui s'est produit, mais elles n'expliquent pas tout à fait pourquoi. La quantité annuelle d'arrosage de protection du feuillage dépend de nombreux facteurs (Carter, 1988). Actuellement, le MRNE tient compte de trois facteurs lorsqu'il évalue les traitements : le moment choisi pour les arrosages, les conditions climatiques après l'arrosage et les niveaux de populations avant l'arrosage.

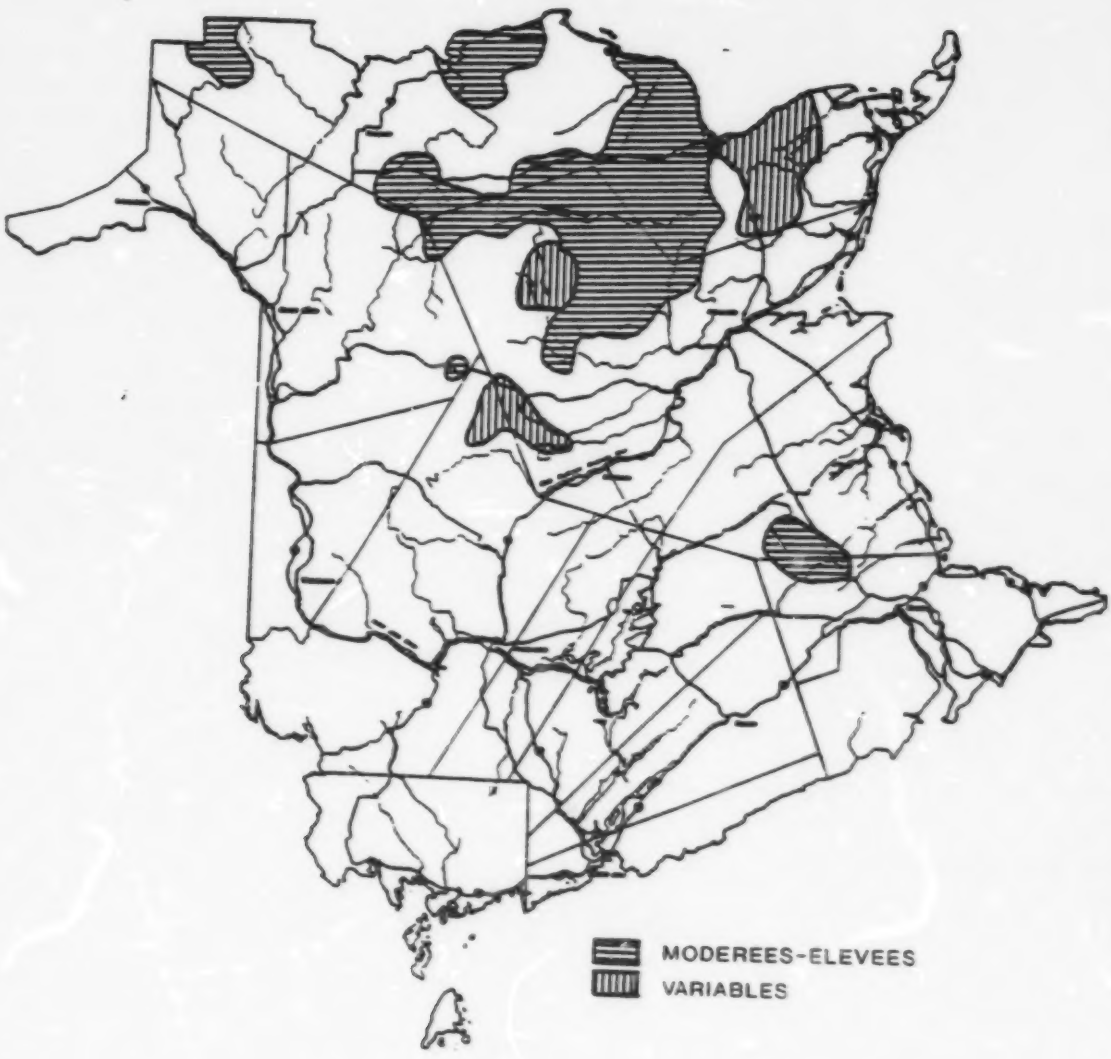


Figure 3. Prévisions régionales visant des populations de tordeuse des bourgeons de l'épinette variables (de faibles à élevées) et modérées à élevées, au Nouveau-Brunswick, en 1991 (Carter et Lavigne, 1991).

— Moment choisi pour les arrosages

Les indices de développement larvaire et de développement des pousses dans les arbres hôtes ont été résumés pour chaque quadrat de traitement évalué (Tableau 3). Les résultats révèlent que tous les quadrats ont été ouverts conformément aux moments prescrits (point 2.1) et, à l'exception des quadrats A-20 et A-21, les arrosages ont essentiellement été réalisés entre les troisième et cinquième stades larvaires. Comme le sixième stade larvaire effective en général la majeure partie de l'activité nutriciale (Koller et Leonard, 1981), la majorité de l'arrosage a été terminée avant le début des dégâts importants.

Tableau 3. Développement larvaire et développement des pousses de l'arbre hôte (enregistrés dans une ou plusieurs placettes de développement) au moment où les quadrats étaient ouverts pour le traitement et la réalisation de tous les arrosages.

Quadrat	Ouverture des quadrats		Réalisation de tous les arrosages	
	Indice larvaire	Indice des pousses	Indice larvaire	Indice des pousses
Fénitrothion — 2 x 210 g/ha				
A-10	2,8-3,1	3,0-3,9	4,1-4,8	5,0
A-15	3,0-3,3	3,0-3,5	4,0-4,2	5,0
A-19	3,3	3,0	4,9-5,1	5,0
A-20	3,0-3,8	2,7-3,5	4,3-5,5	5,0
Bacillus thuringiensis — 2 x 15 MUI/ha				
A-5	3,0-3,2	3,4-4,2	4,4-4,8	5,0
A-6	3,1-4,0	3,9-4,9	4,3-4,7	5,0
A-7	3,4-3,7	4,3-4,6	4,7	5,0
A-8	3,3-3,4	4,4-4,5	4,5-5,0	5,0
A-18	3,3-3,8	3,7-4,3	4,7	5,0
A-21	3,2-3,3	3,0-4,1	5,3	5,0
A-22	3,6-3,7	4,0-4,1	5,1	5,0
Bacillus thuringiensis — 1 x 30 MUI/ha				
A-13	3,3	4,0	3,3	4,0
Fénitrothion (210 g/ha) + B.t. (15 MUI/ha)				
A-9	3,1	3,2-3,9	3,5-3,6	4,0-4,8
A-17	3,1	3,4-3,9	4,5-5,1	5,0

— Conditions climatiques après l'arrosage

Les données expérimentales recueillies en 1989 ont révélé que lorsque des conditions climatiques froides et humides, suivaient le traitement dans les 24 heures, elles agissaient négativement sur l'efficacité du B.t. en limitant l'activité nutriciale de la tordeuse des bourgeons d'épinette (Kettela, Forêts Canada — Maritime, comm. pers.). On n'a cependant établi aucune limite pertinente aux conditions climatiques «froides» ou «humides», mais on peut reconnaître les valeurs extrêmes.

En 1991, sept stations météorologiques (Figure 4) ont été établies et surveillées par Forêts Canada — Maritimes et l'Atlantic Weather and Environmental Consultants Ltd. (AWEC) dans le cadre d'un projet de recherche visant à examiner les facteurs opérationnels clés affectant l'efficacité du B.t. (ceux-ci seront signalés ailleurs par Forêts Canada — Maritimes). Selon l'AWEC (Dickison, 1991), deux types de stations ont été établies. Les stations principales P1 à P4 disposaient de capteurs montés sur des tours pour surveiller les radiations solaires, la température, l'humidité relative, la vitesse et la direction du vent, ainsi que de pluviomètres au sol pour surveiller l'intensité des précipitations. On a également utilisé à ces stations, des consignateurs de données pour interroger et stocker les données à 12 minutes d'intervalle. Par contre, les stations supplémentaires S1 et S3 utilisaient des abris d'instruments, dont des hygrothermographes pour surveiller la température et l'humidité relative, ainsi que des pluviomètres pour mesurer l'accumulation des précipitations. Les données ont été enregistrées manuellement ou à l'aide d'enregistreurs graphiques à ces stations.

Au cours de la période de traitement (du 30 mai au 16 juin), ces stations ont enregistré des périodes de conditions climatiques froides et humides (Tableaux 4 et 5). Les températures maximales quotidiennes se situaient entre 6,3 et 31,0 °C, et la température maximale moyenne pour cette période a été de 19,9 °C. Inversement, les minimums quotidiens variaient entre -5,5 et 20,4 °C, avec une moyenne de 6,5 °C. Comparativement aux normales* de la période des 30 dernières années, les températures maximales et minimales se sont situées au-dessous de la normale pendant neuf jours de la période de traitement (Dickison, 1991).

Des précipitations continues sont survenues trois fois au cours du programme de protection. Le 1er juin, on a enregistré des précipitations moyennes de 4,8 à 9,4 mm et le 4 juin, de légères précipitations de 0,8 à 2,8 mm. Les précipitations les plus notables cependant ont été de très fortes précipitations ayant débuté l'après-midi du 12 juin et ayant laissé jusqu'à 61,7 mm avant de cesser à l'aube du 14 juin.

— Niveaux de populations avant l'arrosage

Dans les zones traitées et non traitées, on a évalué chez 1 648 arbres au total les populations avant l'arrosage, les populations finales après l'arrosage et le taux final de la défoliation courante. Les densités larvaires avant arrosage dans les transects traités et non traités correspondaient à peu près aux mêmes plages, mais elles étaient différentes sur le plan de la répartition (Figure 5). Dans l'ensemble, les arbres échantillonnés ont été soumis à un total de 17 combinaisons d'aéronef / matériel / traitement insecticide. Toutefois, les échantillons de petites dimensions de bon nombre de ces combinaisons ont empêché toute évaluation raisonnable des résultats relatifs à la protection du feuillage. Par exemple, en raison de difficultés mécaniques survenues dans le pompage du B.t. dans les aéronefs munis d'atomiseurs Sergonair, seulement 3 760 ha ont pu être traités. Seulement 25 arbres ont été échantillonnés à l'intérieur de cette zone.

* Les normales sont tirées des renseignements météorologiques de la station météorologique de la Heath Steele Mines de la période de 1951 à 1980.

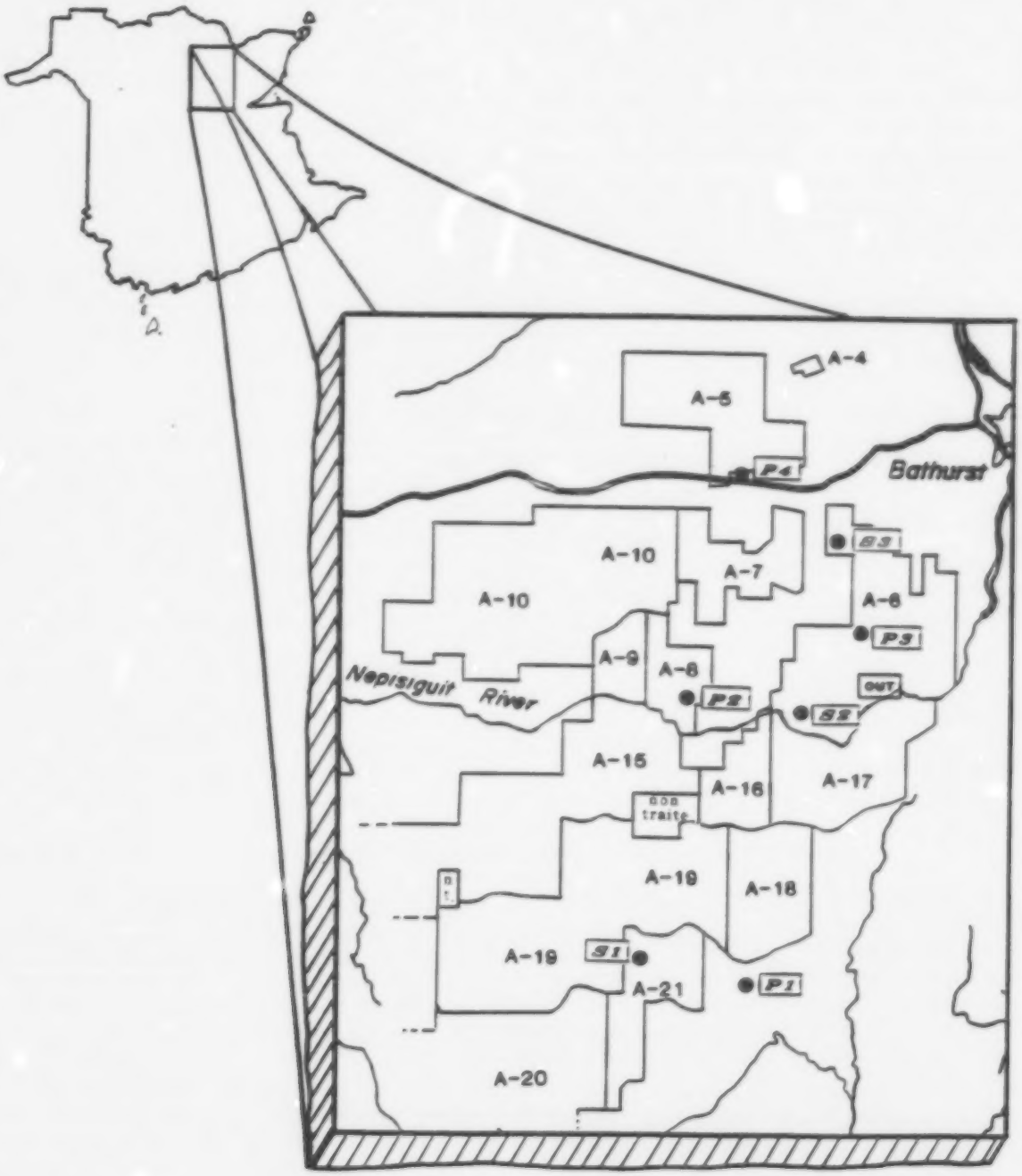


Figure 4. Emplacement des stations météorologiques de surveillance (P1-P4; S1-S3) par rapport aux zones traitées contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick, en 1991.

Tableau 4. Sommaire des températures maximales et minimales (°C) à différantes stations météorologiques (Dickison, 1991).

	Station													
	P1		P2		P3		P4		S1		S2		S3	
Date	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)	(min)	(max)
30 Mai			4,3	20,5	5,1	20,2	6,1	19,5	3,0	20,3	-5,5	20,5		
31	5,6	13,2	5,9	12,3	4,2	14,1	4,1	13,5	0,8	8,2	-1,1	9,7		
1 Juin	5,6	11,0	5,1	12,6	5,4	13,5	5,2	13,6	0,0	6,4	-0,5	6,3		
2	6,9	20,2	6,8	17,3	8,8	17,9	7,7	16,9	0,9	19,5	-2,8	17,0		23,3
3	6,3	15,0	6,5	15,5	8,0	14,9	8,4	14,3	6,3	14,9	5,8	14,0	6,0	14,0
4	6,2	14,6	6,4	13,1	5,4	14,2	5,6	13,3	5,5	13,1	4,4	14,4	4,0	13,8
5	5,4	15,8	5,4	15,4	5,9	15,5	5,4	16,2	5,4	15,3	5,8	16,8	4,4	15,2
6	4,4	23,3	5,0	23,6	6,2	23,3	5,9	23,1	5,2	22,7	3,8	23,6	2,1	22,2
7	7,9	30,3	8,5	29,7	11,1	29,5	9,8	28,8	6,5	30,0	5,8	30,0	5,1	
8	5,8	27,2	7,5	23,9	9,5	23,9	6,7	22,5	6,2		7,0	26,0		
9	3,4	24,2	4,1	22,5	5,9	22,4	3,8	21,5	4,0	23,9	0,4	23,0		20,4
10	12,4	27,9	15,7	29,2	14,0	29,9	13,4	28,9	14,5	30,4	10,9	29,9	10,8	29,1
11	20,2	30,9	18,8	29,6	20,4	29,8	16,6	27,6	18,5	31,0	17,3	30,2	16,6	29,0
12	13,7	25,7	13,3	23,6	12,8	24,2	12,4	22,9	13,6	24,8	13,8	26,0	11,8	23,7
13	5,6	13,7	5,3	13,1	6,1	12,8	5,7	12,3	4,8	13,7	6,1	13,8	4,3	11,8
14	3,0	14,0	4,4		4,4		4,3	12,1	3,7	12,2	4,8	13,1	3,2	11,2
15	1,7	21,0					2,4	19,5	2,0	20,4	0,0	21,2	1,8	19,6
16	0,1	24,1					2,5	21,5	2,3	23,0	-0,3	23,0	-0,3	21,2
17	4,0	24,1					3,5	25,1	6,0	23,6	1,7	24,7	1,1	22,8
18	8,3	30,6					13,7	30,1	10,4	30,1	9,0	29,8	10,2	29,3

Tableau 5. Sommaire des précipitations quotidiennes (mm) à différentes stations météorologiques (Dickison, 1991).

	Station						
Date	P1	P2	P3	P4	S1	S2	S3
30 Mai	0	0	0,3	0	C*	C	C
31	0,5	0,8	0	0	C	C	C
1 Juin	9,4	5,8	4,8	7,1	C	C	C
2	0	0	0	0	11,8**	8,9**	8,2**
3	0	0	0	0	C	C	C
4	2,8	1,0	0,8	2,0	C	C	C
5	0	0,3	0,2	0	C	C	C
6	0	0	0	0	0,4**	15,2**	1,3**
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0,5	0	0	0	C	C	C
11	0	0	0	0,3	C	C	C
12	9,4	2,5	0,8	2,8	C	C	C
13	52,1	40,6	47,0	57,2	C	C	C
14	0,2	1,3+	1,3+	1,3	55,2**	51,9**	53,8**
15				0	C	C	C
16				0	C	C	C
17				0	C	C	C
18				0	C	C	C

* C = Aucune observation; les précipitations s'accumulant dans le pluviomètre.

** Observations de précipitations cumulatives (les précipitations ont probablement eu lieu les jours indiqués pour les stations P1 à P4).

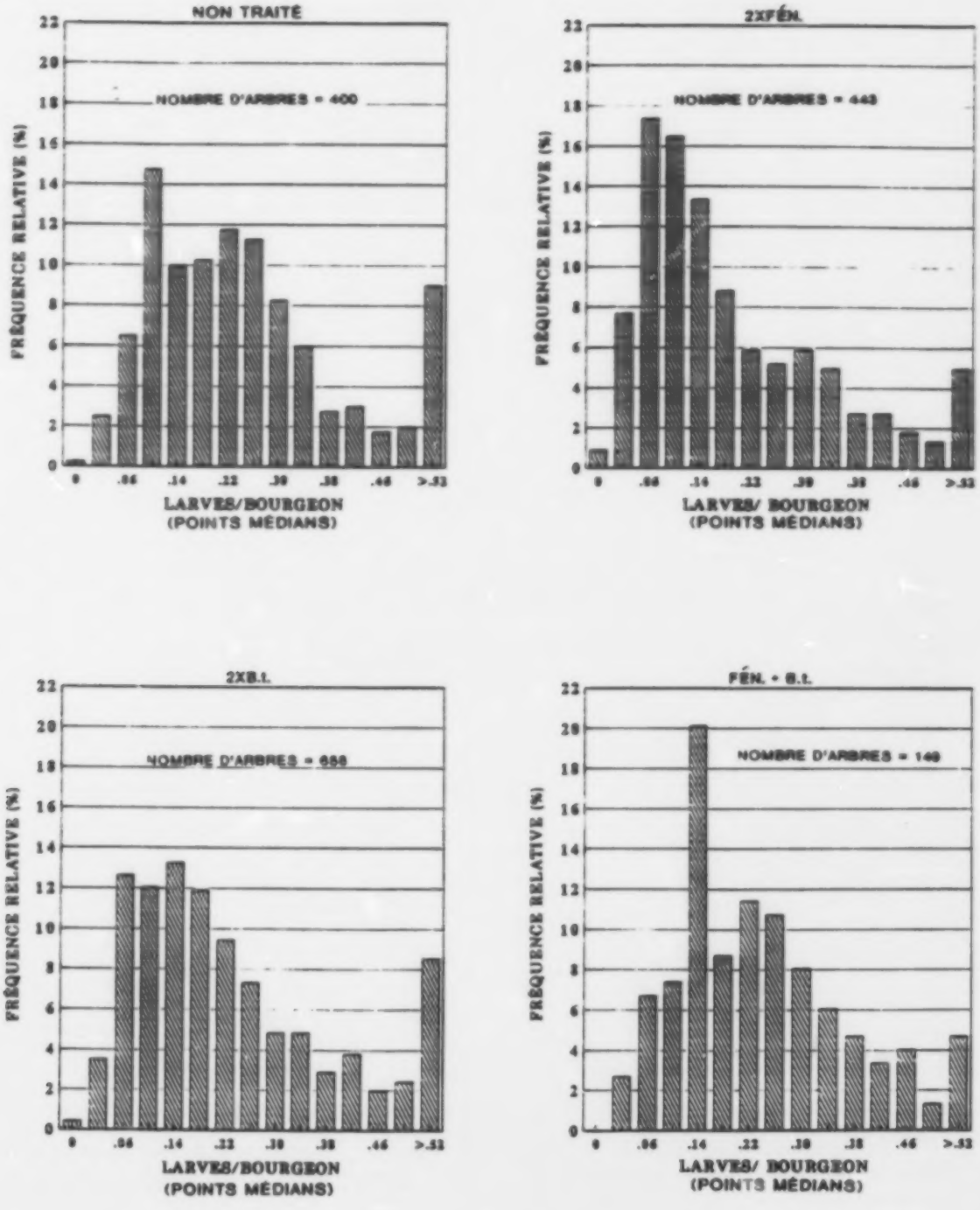


Figure 5. Répartition des populations larvaires avant arrosage dans les transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.

De façon analogue, bon nombre des autres combinaisons ont comporté des échantillons restreints. Par conséquent, les données ont été regroupées sous trois traitements aux fins d'analyse, notamment : i) le double arrosage de fénitrothion à raison de 210 g/ha; ii) le double arrosage de Futura XLV-HP ou de Dipel 64AF à raison de 15 MUI/ha; et iii) un traitement séquentiel comportant un arrosage de fénitrothion à raison de 210 g/ha, suivi d'un arrosage de Futura XLV-HP ou de Dipel 64AF à raison de 15 MUI/ha.

4.3 Résultats des traitements

Faisant appel aux techniques d'analyse de la régression et des données relatives aux arbres obtenues des échantillons non traités, on a tracé des courbes des taux de mortalité des larves (Figure 6A) et des taux de défoliation anticipés (Figure 6B) par rapport à la densité larvaire avant l'arrosage. Les équations sur la régression obtenues ont été utilisées conjointement avec les dénombrements des larves avant arrosage dans les arbres des zones traitées en vue d'évaluer le taux de mortalité des larves et le taux de défoliation qu'on aurait obtenu sans traitement. Ces éléments ont fourni des renseignements permettant de calculer les valeurs de la mortalité corrigée ou de la mortalité due aux insecticides (Abbott, 1925), ainsi que les valeurs du pourcentage de diminution de la défoliation ainsi que parmi les échantillons traités.

4.3.1 Vue d'ensemble

Pour obtenir une vue d'ensemble, on a calculé les moyennes pertinentes aux quadrats traités et aux transects non traités (Tableau 6). Un examen du taux moyen de défoliation dans les traitements contre les contrôles, de la diminution moyenne absolue de la défoliation et du taux moyen de diminution de la défoliation, ont révélé des améliorations attribuables au traitement. Cependant, on a observé dans des populations similaires de larves/bourgeon avant arrosage des différences sur le plan de la protection du feuillage, le traitement séquentiel offrant le moins de protection et le traitement chimique, une meilleure protection que le traitement au B.t. Des résultats positifs ont été enregistrés au quadrat A-13, traité à raison de 1x30 MUI/ha, mais les populations y étaient seulement de faibles à modérées, et ce quadrat se trouvait à environ 50 km à l'ouest de la majorité des zones traitées au B.t. Les résultats de ce traitement n'ont pas été regroupés avec les données obtenues de l'arrosage à raison de 2x15 MUI/ha, et elles n'ont pas été incluses dans aucune autre analyse.

L'efficacité du traitement a également été analysée en fonction de la régression de la proportion de défoliation courante par rapport aux densités larvaires avant arrosage, regroupées par catégories de 0,04 larve/bourgeon (Figure 7). La corrélation de la courbe de régression par rapport au traitement séquentiel au fénitrothion suivi de B.t. était

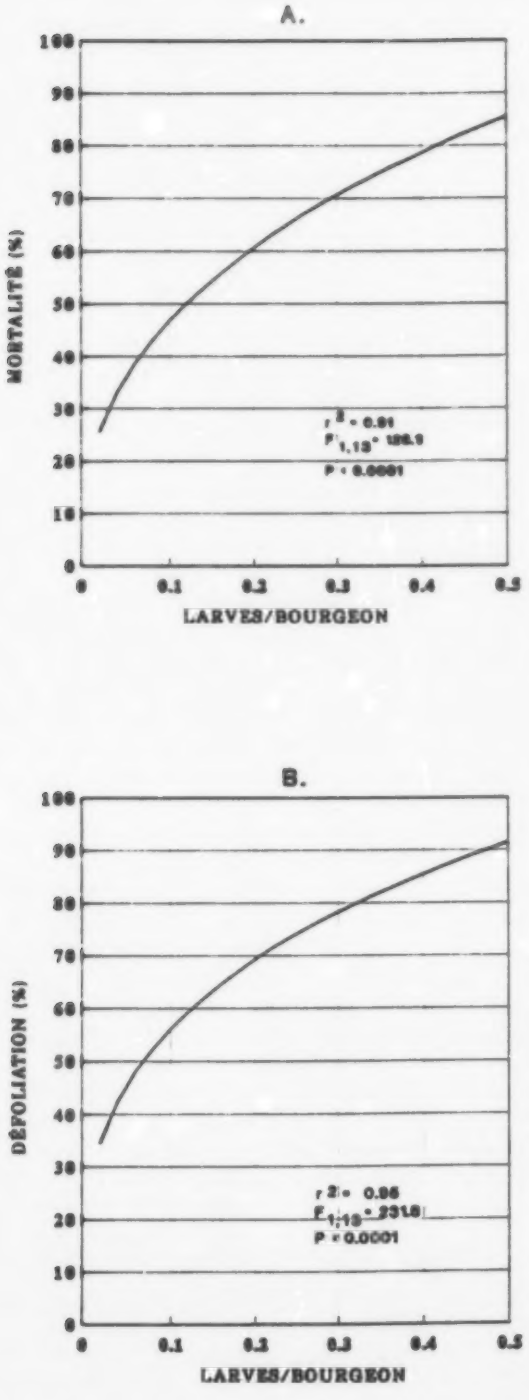


Figure 6. Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage, le taux de mortalité larvaire (A) et le taux de défoliation courant (B) dans les transects non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, 1991.

Tableau 6. Densité larvaire moyenne, mortalité des larves et défoliation courantes des sapins baumiers des transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.

Quadrat	n	Larves avant arrosage /45 -cm	/bour-geon	Pourcentage de Mortalité Obs.	Corr.[a]	Défol. Obs.	Diminution de la défoliation Abs.[b]	% [c]
Fénitrothion — 2 x 210 g/ha								
A-10	153	18,0	0,213	74,9	50,0	43,6	26,6	43,0
A-15	130	12,5	0,128	81,8	71,9	14,4	41,9	75,8
A-19	60	15,7	0,177	84,5	69,4	39,2	30,1	45,7
A-20	100	20,6	0,275	89,2	68,7	47,4	28,3	41,8
Bacillus thuringiensis — (Futura XLV-HP) — 2 x 15 MUI/ha								
A-5	95	8,4	0,108	71,8	55,1	14,8	39,3	74,2
A-6	172	14,9	0,244	82,8	60,5	36,6	34,3	53,0
A-7	99	22,7	0,247	80,9	58,5	61,1	17,4	23,9
A-8	100	29,7	0,296	71,1	32,4	62,9	15,5	21,7
A-21	100	27,4	0,326	84,6	57,8	65,7	14,5	21,1
Bacillus thuringiensis — (Dipel 64AF) — 2 x 15 MUI/ha								
A-18	90	16,3	0,236	83,9	64,1	51,9	21,2	30,9
Bacillus thuringiensis — (Foray 48B) — 2 x 15 MUI/ha								
A-22	50	14,5	0,252	89,2	70,7	51,0	24,4	35,2
Bacillus thuringiensis — (Futura XLV-HP) — 1 x 30 MUI/ha								
A-13	50	8,5	0,115	85,3	76,3	27,6	30,2	56,0
Fénitrothion (2 x 210 g/ha) + B.t. (15 MUI/ha)								
A-9	49	20,7	0,268	69,9	33,4	84,8	4,7	7,0
A-17	100	21,7	0,231	85,9	66,1	60,0	20,7	28,7
Non traités								
C101	30	37,3	0,324	74,0	-	99,0	-	-
C102	50	9,5	0,133	46,2	-	32,6	-	-
C103	30	23,6	0,220	64,9	-	68,4	-	-
C104	25	21,7	0,284	72,4	-	80,3	-	-
C105	25	19,7	0,145	43,5	-	89,4	-	-
C106	30	18,5	0,219	59,1	-	80,1	-	-
C107	30	27,9	0,544	66,1	-	99,6	-	-
C108	30	12,6	0,180	64,6	-	45,5	-	-
C201	30	17,7	0,270	74,6	-	71,4	-	-
C202	30	22,9	0,348	75,4	-	80,0	-	-
C203	30	20,7	0,275	70,6	-	82,9	-	-
C204	60	19,9	0,258	76,3	-	70,0	-	-

[a] Abbott (1925)

[b] Diminution de défoliation absolue = Σ(taux envisagé - taux observé) ÷ n

[c] Taux de diminution de la défoliation = Σ[[(taux envisagé - taux observé) ÷ taux envisagé] x 100) ÷ n

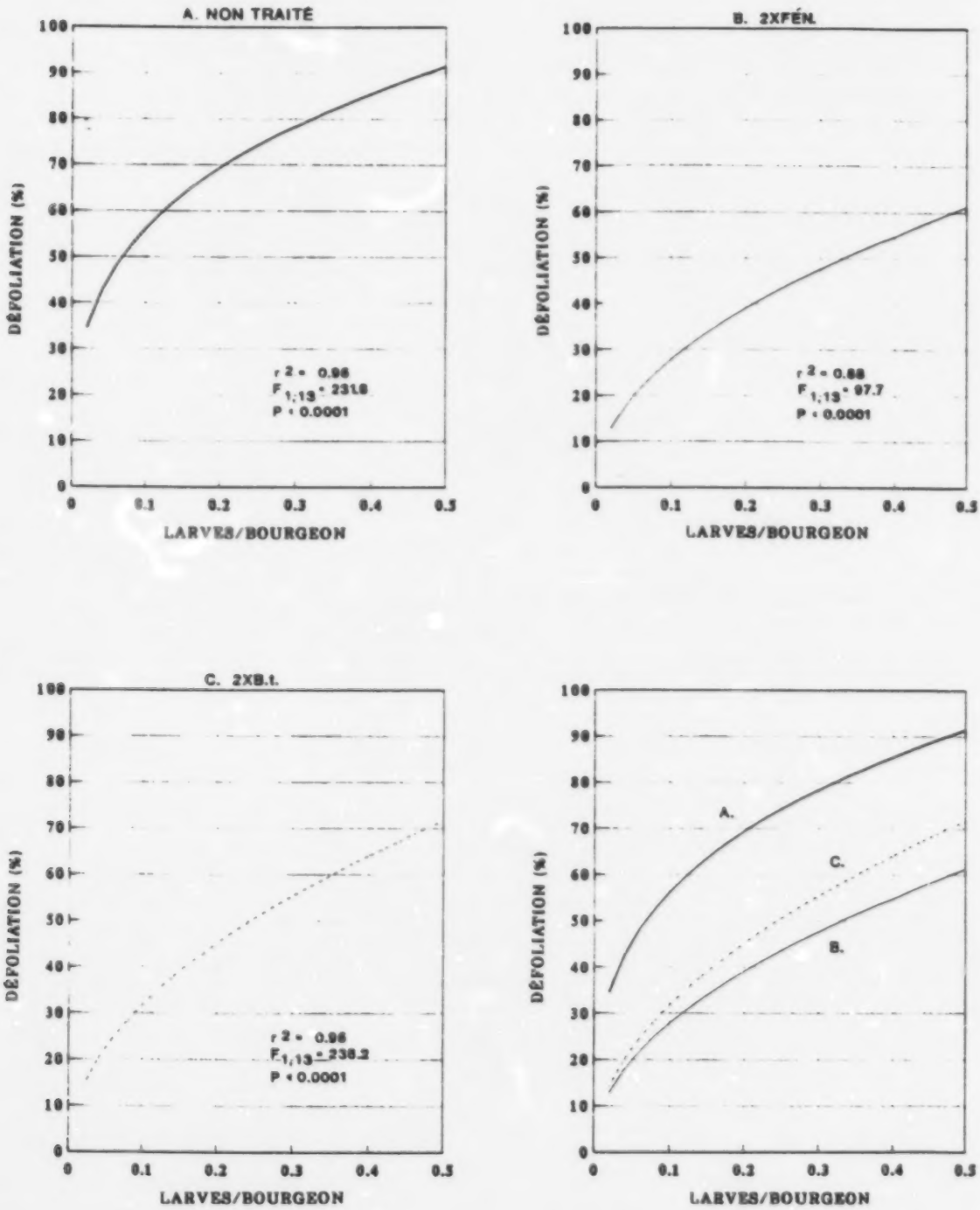


Figure 7. Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les transects non traités et traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.

insuffisante pour justifier l'établissement de la courbe ($r^2 = 0,16$; pente proche de zéro) (voir le point 4.3.4). Les courbes de régression des deux autres types de traitements étaient toutes deux inférieures à la courbe de régression des secteurs non traités. Selon les courbes de régression, la défoliation a en général surpassé l'objectif fixé en fait de protection du feuillage à des densités larvaires avant arrosage supérieures à 0,16 et 0,21 larve/bourgeon dans les traitements au B.t. et au fénitrothion, respectivement.

Comme les données n'étaient pas réparties normalement, on a également eu recours à des essais statistiques non paramétriques afin d'évaluer les différences entre les traitements. Les données ont été regroupées dans quatre grandes catégories de populations pour chaque traitement (faible : de 0 à 0,1 larve/bourgeon; modérée : > 0,1 à 0,2 larve/bourgeon; élevée : > 0,2 à 0,3 larve/bourgeon; et extrême : > 0,3 larve/bourgeon). Les résultats en fait de larve/branche, de larve/bourgeon, des taux de mortalité, de mortalité corrigée, de taux de défoliation et de taux de diminution de la défoliation, ont été résumés (Tableau 7) et évalués (Kruskal-Wallis) sous le rapport des différences statistiques pour chaque catégorie et chaque type de traitement. Lorsque des différences appréciables ont été décelées, on a effectué des comparaisons entre toutes les combinaisons possibles (c.-à-d. six) de deux types de traitements à l'aide de l'essai à deux échantillons Wilcoxon pour les échantillons non appariés (Daniel, 1990). Ces analyses ont soutenu les interprétations initiales concernant l'efficacité des traitements. À densités larvaires similaires[a], le traitement séquentiel a fourni la protection du feuillage la plus basse, et le traitement au fénitrothion a offert une meilleure protection que le traitement au B.t.

Afin d'évaluer de manière plus approfondie les différences en fait de protection du feuillage entre les traitements, on a examiné la répartition des échantillons dans des catégories de défoliation courante de 20 p. 100 dans chaque catégoirie de population (Figure 8). Des comparaisons de la répartition des résultats de défoliation ont révélé des améliorations dues aux traitements, ainsi que des différences entre les traitements au niveau de la protection du feuillage. Par exemple, la proportion d'arbres plus élevée des catégories de défoliation moindre dans les zones traitées au fénitrothion comparativement au B.t. ont démontré l'efficacité accrue du traitement au fénitrothion.

Dans l'ensemble, les proportions de sapins baumiers échantillonnés satisfaisant à l'objectif de défoliation ont respectivement été de 64 p. 100, 45 p. 100 et 28 p. 100, dans le cas du traitement au fénitrothion, de l'arrosage au B.t. et du traitement séquentiel au fénitrothion suivi de B.t. Par contre, seulement 20 p. 100 des arbres échantillonnés dans les transects non traités présentaient des défoliations en deçà des objectifs.

---

[a] Les résultats non paramétriques sur la proportion de larves/bourgeon révèlent des différences statistiques au niveau des densités initiales des populations avant arrosage entre les traitements des catégories de populations modérées seulement.

4.3.2 Effet des conditions climatiques après arrosage

Compte tenu de la somme des données sur les conditions climatiques dont on disposait, il a été décidé de déterminer si l'efficacité avait été affectée négativement par une période évidente de conditions climatiques «défavorables» après l'arrosage. En particulier, on a comparé les résulats finals sur la défoliation obtenus des placettes traitées au fénitrothion et au B.t. en deçà de la période de 24 heures ayant suivi les précipitations abondantes du 12 au 14 juin (= conditions climatiques «défavorables»), et les résulats obtenus des placettes non traitées au cours de cette période (= conditions climatiques «favorables»).

Tableau 7. **Moyennes, erreurs courantes et résultats non paramétriques [Kruskal-Wallis; essai à deux échantillons Wilcoxon (p<0,05)] relatifs à des traitements à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.**

Plage des populations avant arrosage (Larves/ bourgeon)	Traitement*	n	Larves/ branche $\bar{x}\pm$ES NP**	Larves/bourgeon $\bar{x}\pm$ES NP	Taux de mortalité $\bar{x}\pm$ES NP	Mortalité corrigée $\bar{x}\pm$ES NP	Taux de défoliation $\bar{x}\pm$ES NP	Taux de diminution de défoliation $\bar{x}\pm$ES NP
≤ 0,1 (FAIBLE)	Non traités	60	6,2±0,5 a	0,067±0,008 a	38,6±4,5 a	- -	47,4±4,2 c	- -
	2 x Pén.	152	6,5±0,3 ab	0,080±0,002 a	74,6±2,6 c	65,4±3,1 c	18,8±1,9 a	67,3±2,7 c
	2 x B.t.	150	5,7±0,3 a	0,064±0,002 a	65,8±2,8 b	53,4±3,3 b	23,6±2,1 b	59,7±2,9 b
	Pén. + B.t.	17	7,8±0,7 b	0,086±0,005 a	66,8±7,3 bc	52,8±8,1 abc	70,2±6,8 d	10,5±4,4 a
>0,1 ≤ 0,2 (MODÉRÉE)	Non traités	117	12,7±0,5 a	0,146±0,003 c	54,9±2,9 a	- -	64,2±2,7 c	- -
	2 x Pén.	134	13,7±0,5 a	0,144±0,002 a	81,4±2,0 b	63,7±3,0 a	35,7±2,6 a	40,5±3,2 c
	2 x B.t.	208	13,5±0,5 a	0,151±0,002 b	77,9±1,7 b	59,4±2,6 a	42,7±2,1 b	40,6±2,5 b
	Pén. + B.t.	51	15,5±0,9 b	0,149±0,003 ab	81,9±2,2 b	62,3±4,3 a	60,6±4,9 c	26,1±5,1 a
>0,2 ≤ 0,3 (ÉLEVÉE)	Non traités	108	21,3±0,9 a	0,269±0,008 a	74,9±2,2 a	- -	79,9±2,3 c	- -
	2 x Pén.	63	23,3±1,3 a	0,252±0,004 a	85,9±2,4 b	65,1±4,3 a	46,8±4,1 a	41,9±4,7 c
	2 x B.t.	125	20,8±1,0 a	0,266±0,002 a	83,2±1,5 b	58,1±2,9 a	56,4±2,5 b	29,6±2,7 b
	Pén. + B.t.	42	23,5±1,7 a	0,251±0,005 a	81,6±3,0 b	55,9±5,6 a	69,1±5,1 c	22,8±5,1 a
> 0,3 (EXTRÊME)	Non traités	115	34,6±1,9 a	0,489±0,020 a	82,1±1,8 a	- -	86,0±2,2 d	- -
	2 x Pén.	96	32,8±1,9 a	0,459±0,016 a	89,6±1,8 b	55,1±4,2 a	53,6±3,0 a	41,0±3,1 c
	2 x B.t.	178	34,9±1,7 a	0,500±0,015 a	90,5±1,0 b	49,9±2,9 a	67,6±2,1 b	26,3±2,1 b
	Pén. + B.t.	39	32,7±2,7 a	0,436±0,018 a	83,9±3,3 ab	44,7±6,7 a	76,2±5,0 c	19,1±4,9 a
Regroupés	Non traités	400	20,4±0,8 b	0,261±0,010 c	65,7±1,5 a	- -	72,2±1,5 c	- -
	2 x Pén.	443	16,7±0,7 a	0,197±0,005 a	81,5±1,2 c	63,3±1,8 b	35,3±1,5 a	52,7±1,7 c
	2 x B.t.	636	19,5±0,7 a	0,244±0,005 bc	79,6±1,0 b	55,2±1,5 a	47,7±1,3 b	39,0±1,4 b
	Pén. + B.t.	149	21,4±1,1 b	0,243±0,012 c	80,6±1,7 b	55,3±3,0 a	68,2±2,7 c	21,6±2,7 a

* Traitements: Non traités - Traitements non connus à l'arrosage.
2 x Pén. - Pénitrothion 2 x 210 g/ha.
2 x B.t. - Futura XLV-HP ou Dipel 64 AF 2 x 15 MUI/ha.
Pén. + B.t. - Pénitrothion 1 x 210 g/ha + Futura XLV-HP ou Dipel 64 AF 1 x 15 MUI/ha.

** NP - Les moyennes présentant la même lettre au sein des catégories de population de chaque colonne ne diffèrent pas substantiellement (Kruskal-Wallis; essai à deux échantillons de Wilcoxon, $P < 0,05$).

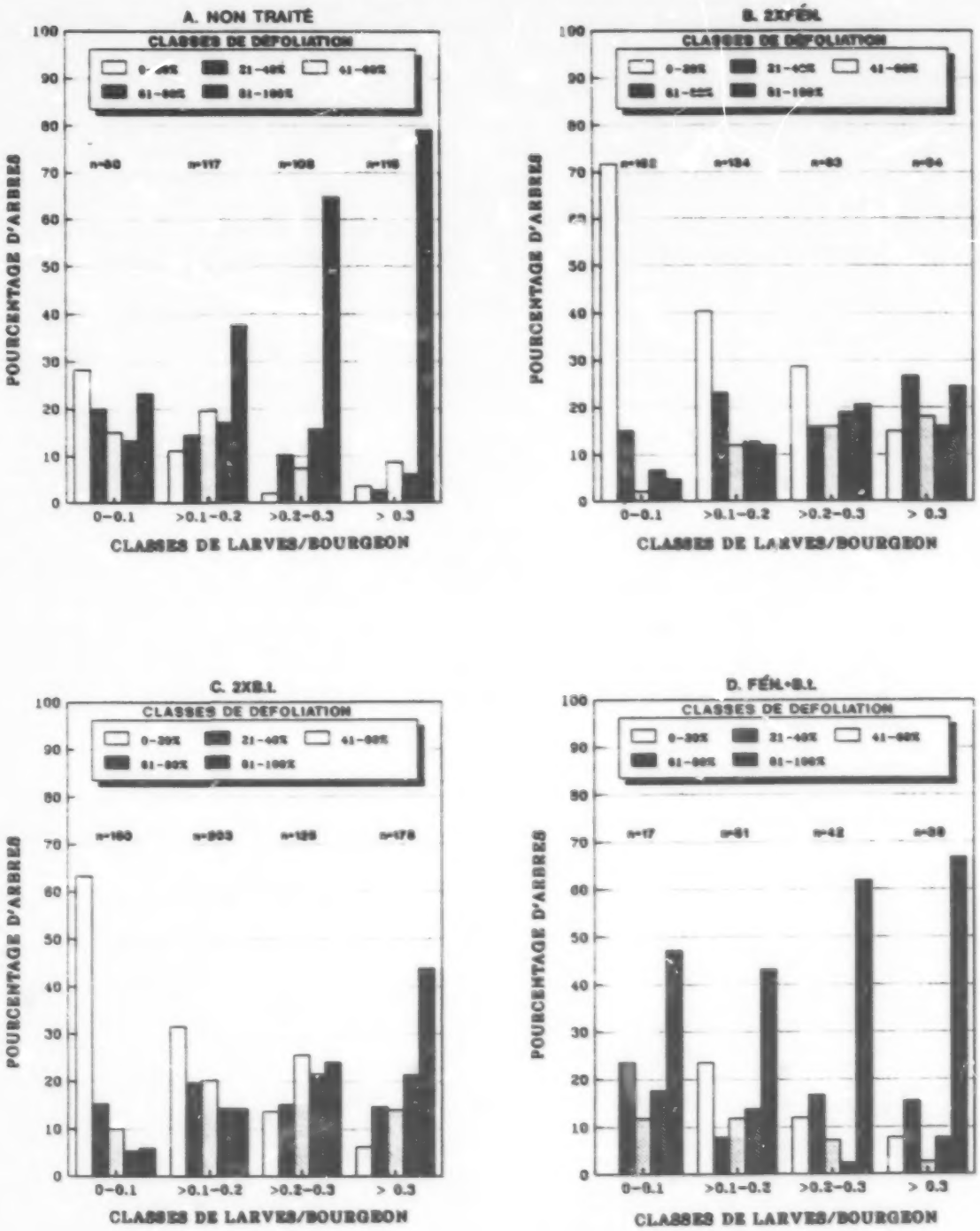


Figure 8. Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations des transects traités et non traités à l'intérieur des secteurs des prévisions M-É, dans le nord du Nouveau-Brunswick, en 1991.

Dans le cas des deux traitements, la répartition des échantillons s'insérant dans des catégories de défoliation courantes de 20 p. 100 (Figures 9 et 10) a été stratifiée par catégorie de population afin qu'on puisse examiner les différences au niveau de la protection du feuillage entre des sous-ensembles de données soumis à différentes périodes de traitement avant des précipitations extrêmes (c.-à-d. dans le cas du fénitrothion : l'après-midi du 12 juin = quatre à cinq heures avant le début de fortes précipitations, contre l'avant-midi du 12 juin = de 13 à 17 heures avant le début de fortes précipitations, comparativement à un moment hors d'une période de 24 heures; dans le cas du B.t. : l'avant-midi du 12 juin = de 12 à 17 heures avant le début de fortes précipitations, contre un moment hors d'une période de 24 heures). Aucune placette n'a été traitée au B.t. en deçà de quatre à cinq heures d'une forte précipitation. L'analyse de la régression a également servi à examiner les tendances des niveaux de protection du feuillage pour ces périodes (Figures 11 et 12).

Dans le cas du fénitrothion, les analyses ont révélé une tendance selon laquelle le maximum de défoliation est survenu dans les placettes traitées quatre à cinq heures avant le début de très fortes précipitations (l'après-midi du 12 juin), moyenne dans les placettes traitées de 13 à 17 heures avant une précipitation (l'avant-midi du 12 juin), et à son niveau le plus bas dans les placettes non traitées dans les 24 heures (Figure 11). Fait intéressant à signaler, cette dernière courbe de régression des conditions climatiques «favorables» était plus typique de l'efficacité signalée dans le cas du fénitrothion en 1988, en 1989 et en 1990 (Figure A1). Ces résultats laissent supposer que les conditions climatiques après arrosage extrêmement médiocres, sous forme de précipitations très fortes, ont eu un effet négatif sur l'efficacité du fénitrothion, et ils révèlent que les résultats globaux sur la protection du feuillage au fénitrothion de 1991, étaient inférieurs, du moins en partie, en raison de ces conditions climatiques médiocres après l'arrosage. Un examen des registres a indiqué que 40 p. 100 des seconds arrosages au fénitrothion, dans le nord du Nouveau-Brunswick, ont eu lieu 24 heures avant de fortes précipitations.

Dans le cas du B.t., les analyses ont indiqué une défoliation plus intense dans les placettes traitées 12 à 17 heures avant le début de très fortes précipitations (l'avant-midi du 12 juin), et une défoliation légèrement plus faible dans les placettes non traitées dans la période de 24 heures (Figure 12). Les différences étaient en général évidentes aux niveaux des populations faibles et modérées. Comme les placettes traitées dans des conditions climatiques «défavorables» représentaient moins de 9 p. 100 du nombre total des arbres échantillonnés traités au B.t., l'efficacité globale obtenue avec le B.t. n'a pas été très différente des placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables». Les résultats ont également été très similaires à ceux obtenus en 1990 (Figure A2, Annexe). Avec des populations élevées et extrêmes, cette année, il appert que même dans des conditions climatiques «favorables» après l'arrosage, d'autres facteurs ont agi négativement sur l'efficacité du B.t.

Parmi les causes possibles, on note les délais entre arrosages, le mode d'action simple du B.t. et sa brève durée de vie, ainsi que la possibilité de dépôts d'insecticide en quantité et en qualité insuffisantes. Ces facteurs n'étaient apparemment pas si préjudiciables au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables».

4.3.3 Effet des délais

Les deux arrosages au fénitrothion et au B.t. ont respectivement été terminés au bout de 14 et de 15 jours, après l'ouverture des quadrats. Cela a en général correspondu à un développement larvaire du troisième au cinquième stades larvaires (c.-à-d. un indice larvaire de 3,0 à 5,0). Pour étudier l'effet des délais sur les résultats finals, on a calculé le taux moyen de défoliation et le taux moyen de mortalité larvaire corrigé par catégorie de population en fonction des jours nécessaires pour terminer le traitement (Figure 13). Les données liées à la période des fortes précipitations (du 12 au 14 juin) ont été exclues de cette analyse.

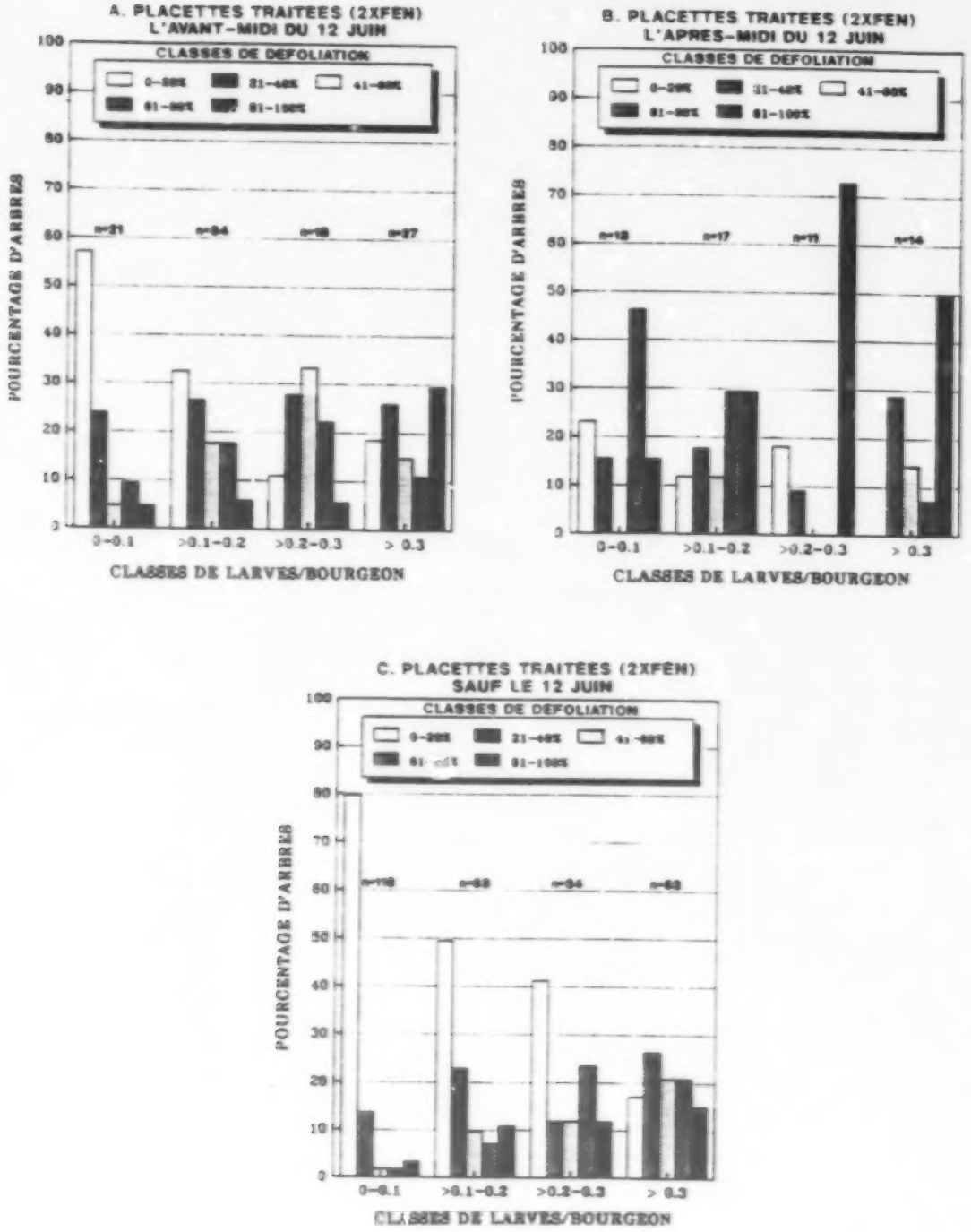


Figure 9. Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations dans les placettes traitées au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).

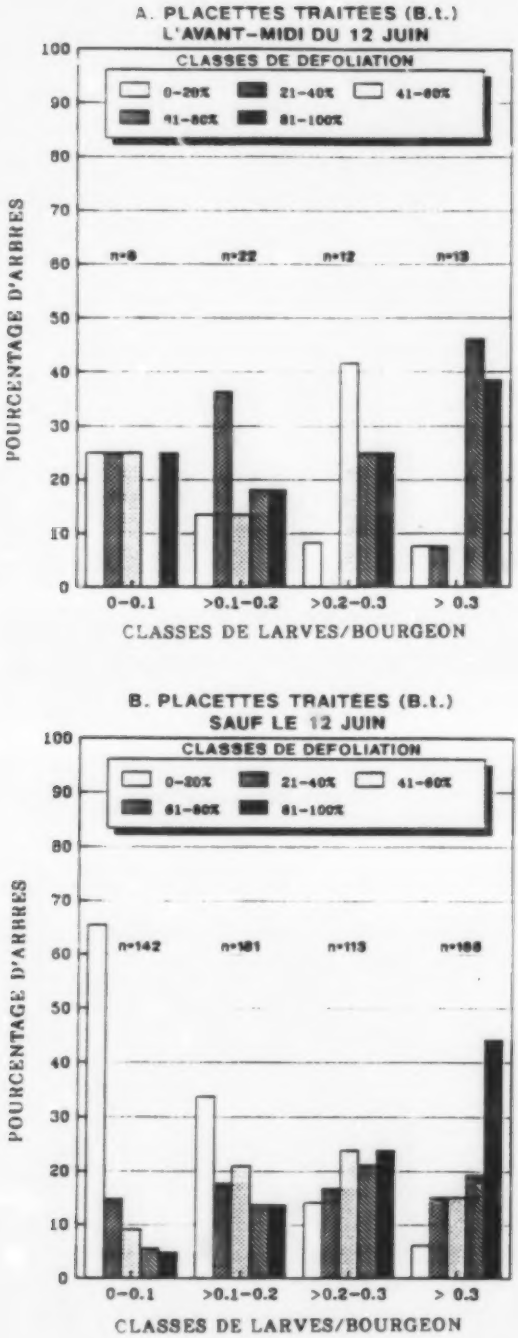


Figure 10. **Répartition en pourcentage des niveaux de défoliation courants à l'intérieur des catégories de populations dans les placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).**

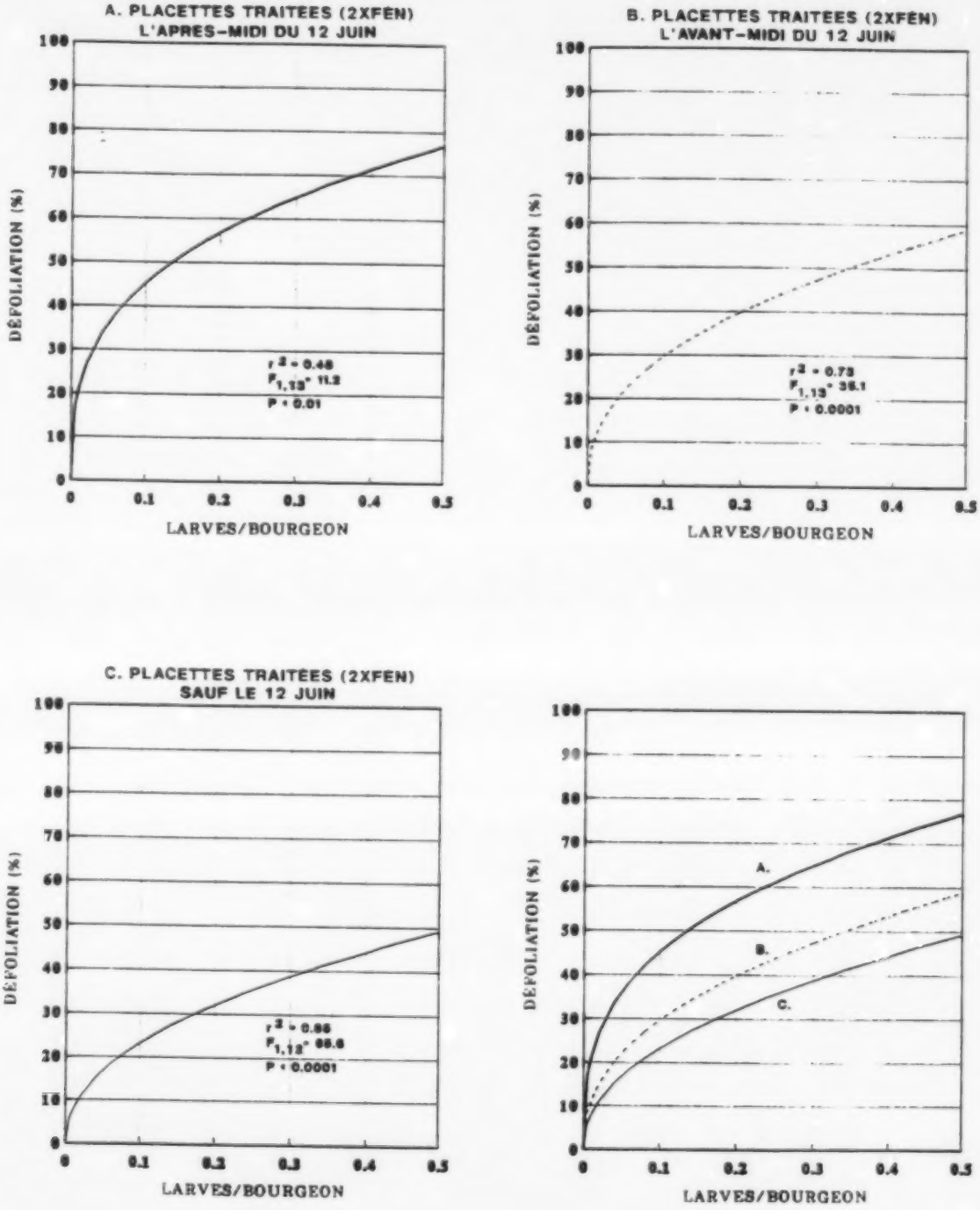


Figure 11. Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les placettes traitées au fénitrothion dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).

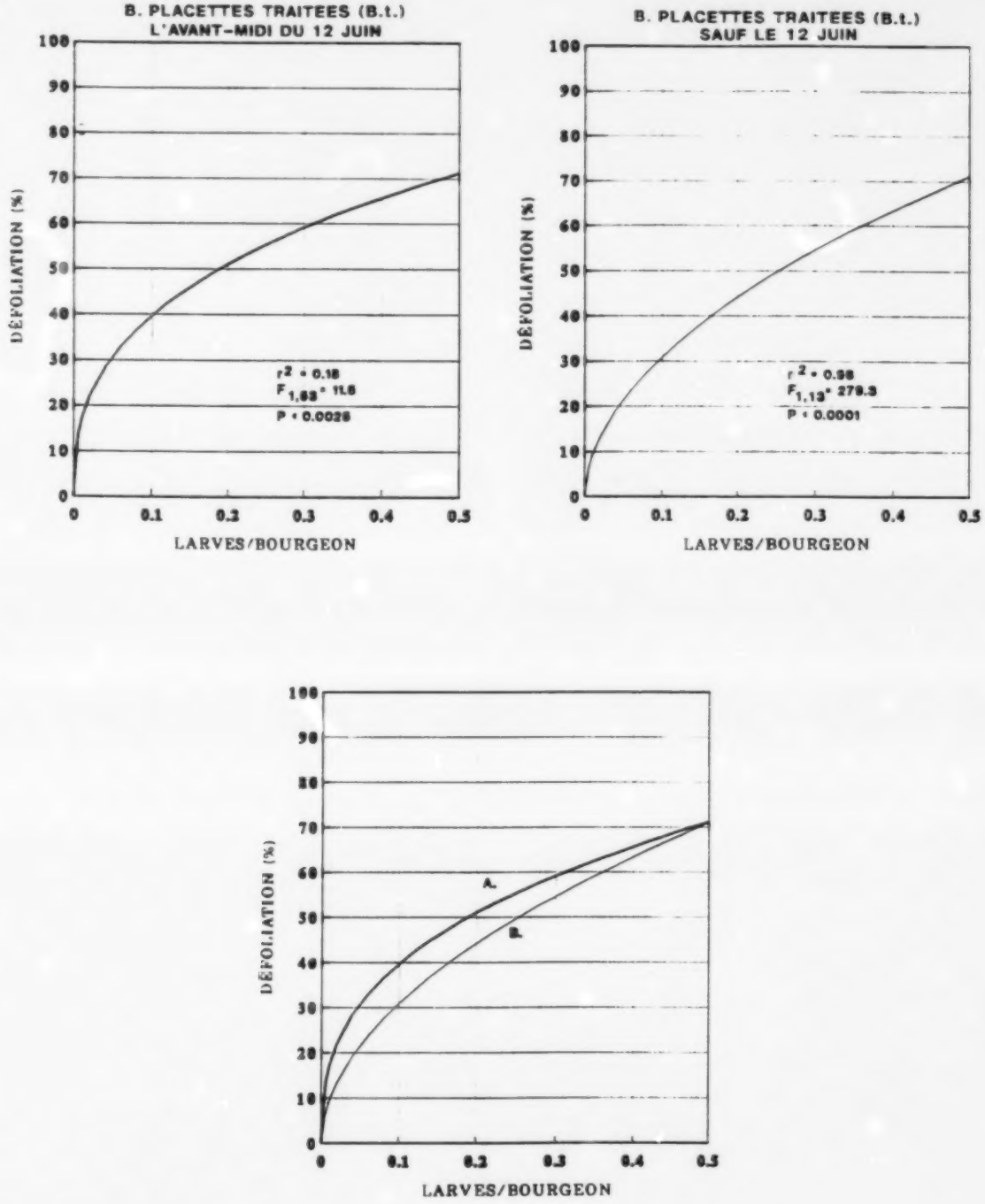


Figure 12. Relations entre les populations larvaires avant l'arrosage et le taux de défoliation courant dans les placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables» et «défavorables» après l'arrosage (voir le texte).

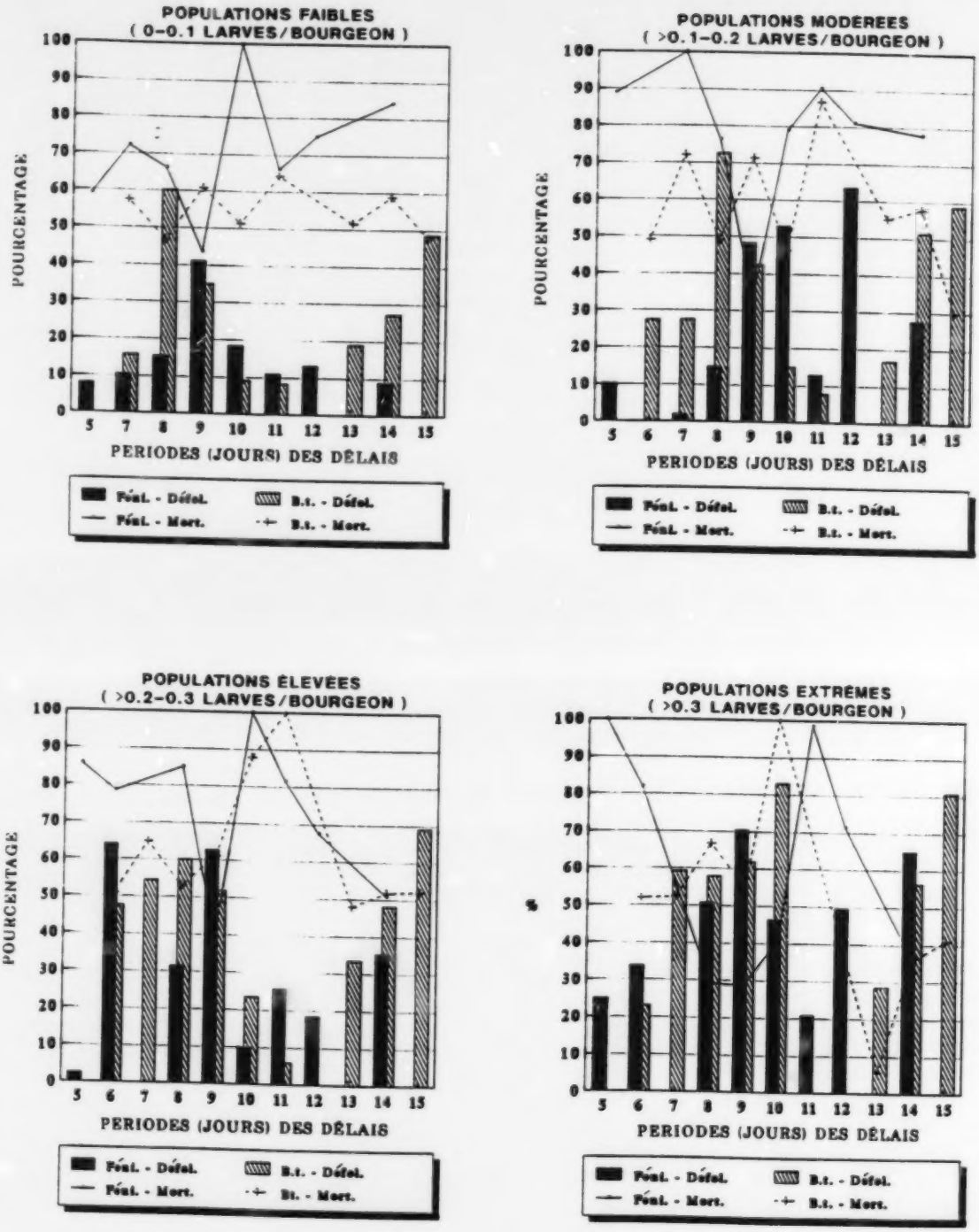


Figure 13. Relations entre la défoliation, les délais et la mortalité corrigée dans le cas des traitements au fénitrothion et au B.t., en 1991.

Dans le cas des populations faibles, les données relatives au fénitrothion de la neuvième journée ont révélé un taux de défoliation de 41,2 p. 100, essentiellement à la limite supérieure (40 p. 100) du programme. Celui-ci était associé à un taux de mortalité larvaire de seulement 44 p. 100, soit le plus bas dans le cas du fénitrothion au sein de ce groupe. Le reste des données sur la défoliation relatives au fénitrothion correspondaient aux objectifs. Dans le cas du B.t., la limite de défoliation souhaitée a été dépassée les 8e et 15e jours. La mortalité larvaire correspondante s'est située à 47 p. 100 et à 48 p. 100 respectivement.

Dans le cas des populations modérées, les données relatives au fénitrothion ont dépassé la limite souhaitée au cours de trois jours (notamment les 9e, 10e et 12e jours). Le 9e jour, la taux de mortalité larvaire n'a été que de 33 p. 100, et cela pourrait expliquer le manque de succès de cet épandage. Par ailleurs, la mortalité a respectivement atteint 79 et de 81 p. 100 les 10e et 12e jours, quoique des résultats acceptables aient été obtenus le 14e jour avec une mortalité larvaire similaire de 78 p. 100. On présume que la différence de la contribution des premier et deuxième arrosages à la mortalité larvaire expliquerait ces différences. Dans le cas du B.t., la défoliation moyenne a dépassé l'objectif au cours de quatre jours (les 8e, 9e, 14e et 15e jours) avec des mortalités larvaires de 49, 71, 58 et 36 p. 100. Encore une fois, le très faible taux de mortalité du 15e jour serait la source des résultats médiocres, tandis que les effets différents des deux arrosages pourraient expliquer les autres résultats.

En ce qui concerne les populations élevées, les données des 6e et 9e jours relatives au fénitrothion se situent au-delà de la limite souhaitée, les données du 6e jour accusant un taux de mortalité larvaire de 78 p. 100, comparativement à un taux de mortalité larvaire de seulement 39 p. 100, le 9e jour. Dans le cas du B.t., six des jours en question (les 6e, 7e, 8e, 9e, 14e et 15e jours) ont accusé des taux de défoliation supérieurs à la limite, les taux de mortalité larvaire variant entre 51 et 65 p. 100.

Dans le cas des populations extrêmes, la limite de défoliation souhaitée a été dépassée par le fénitrothion au cours de cinq journées, soit les 8e, 9e, 10e, 12e et 14e jours). À l'exception d'une mortalité larvaire de 71 p. 100 le 12e jour, la mortalité a varié les autres jours entre 29 et 41 p. 100. Dans le cas du B.t., la défoliation a surpassé la limite au cours de six jours (les 7e, 8e, 9e, 10e, 14e et 15e jours). À l'exception du 10e jour (observation d'un taux de mortalité larvaire de 100 p. 100), les taux de mortalité larvaire face à ces niveaux de populations ont varié entre 36 et 67 p. 100. Les faibles taux de mortalité larvaire avec ces niveaux de populations expliquent certainement l'absence de succès de ces deux insecticides.

D'après les données combinées sur les délais et la mortalité larvaire, on propose les conclusions générales suivantes :

1. Dans le cas des populations faibles et modérées, on peut obtenir des résultats acceptables avec des délais jusqu'à concurrence de 14 jours (indice larvaire de 3,0 à 5,0) à condition que le taux de mortalité larvaire soit de 50 p. 100 ou plus. Des exceptions sont prévues au point 4.

2. Dans le cas des populations élevées et extrêmes, on peut également obtenir des résultats acceptables avec des délais jusqu'à concurrence de 14 jours à condition que le taux de mortalité larvaire soit de 75 p. 100 ou plus. Des exceptions sont prévues au point 4.

3. On est susceptible d'obtenir davantage de résultats acceptables avec le fénitrothion qu'avec le B.t. auprès d'une densité larvaire accrue et avec des délais plus longs entre l'ouverture des quadrats et la fin de l'arrosage. Par exemple, le taux de mortalité larvaire avec le fénitrothion a été ≥ 50 p. 100 dans 78 p. 100 des observations, et ≥ 75 p. 100 dans 49 p. 100 des observations, tandis que le taux de mortalité larvaire avec le B.t. a été ≥ 50 p. 100 dans 67 p. 100 des observations, mais ≥ 75 p. 100 dans seulement 15 p.1 00 des observations.

4. Lorsque des exceptions surviennent, on présume que l'un des deux arrosages ou que les deux sont sous-optimaux sous le rapport du délai et du niveau de population particulier. Par exemple, si les populations sont élevées, que le premier arrosage ne provoque pas une mortalité suffisante et que le délai est à peu près supérieur à dix jours, les dégâts qui surviennent peuvent dépasser la limite souhaitée, même si le second arrosage cause un taux de mortalité important. La valeur du dépôt d'insecticide constitue également un facteur dans ces relations.

4.3.4 Traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t.

Les données relatives au traitement séquentiel au fénitrothion suivi de B.t. n'ont pas présenté un tableau plus avantageux lorsqu'on les a examinées dans leur ensemble au moyen d'une analyse de la régression. Cependant les moyennes des quadrats (Tableau 6) et l'analyse non paramétrique (Tableau 7) montrent un certain effet. Un examen plus approfondi a révélé que l'ensemble total de données comprenait des sous-ensembles de données soumis à des périodes différentes entre l'ouverture des quadrats et la fin du traitement (Tableau 8). On a compté essentiellement trois paires de données, notamment les données des 5e et 7e jours, des jours 10,5 et 11 et des jours 16,5 et 17. Du point de vue phénologique, il n'existait pas de différence entre chaque paire au moment indiqué. Le développement larvaire et le développement des pousses se sont toutefois accrus avec le temps.

Dans le cas de la paire des 5e et 7e jours, les données du 7e jour présentaient un taux moyen de défoliation inférieur et un taux de diminution du feuillage supérieur aux données du 5e jour. Cet écart s'expliquerait en partie par une mortalité corrigée plus élevée pour les données du 7e jour. Des niveaux de mortalité différents laissent supposer des différences dans les dépôts d'insecticide entre les traitements, ou quelque autre facteur négatif.

Dans le cas de la paire des jours 10,5 et 11, les données du 11e jour présentaient un taux moyen de défoliation inférieur et un taux de diminution du feuillage supérieur aux données du jour 10,5. Cet écart s'expliquerait en partie par un taux de mortalité corrigé plus élevé pour les données du 11e jour. Une fois de plus, cette situation laisse supposer des différences dans les dépôts d'insecticide, ou quelque autre facteur négatif.

Dans le cas de la paire des jours 16,5 et 17, il n'existait aucune différence au niveau du taux moyen de défoliation ni du taux de diminution du feuillage malgré un taux de mortalité corrigé considérablement supérieur aux données du jour 16,5 (différences de dépôts?). Des taux de défoliation similaires pourraient s'expliquer si le taux de mortalité avait été enregistré soit après que la majeure partie des dégâts ont été causés (notamment en raison des délais), soit si les larves s'étaient nourries intensément avant la rencontre ou l'accumulation d'une dose fatale de B.t. (on suppose un dépôt d'insecticide de quantité ou qualité inadéquate).

Une analyse de ces résultats laisse supposer qu'avec ces niveaux de populations, on peut obtenir une protection adéquate du feuillage à l'aide d'un traitement séquentiel au fénitrothion suivi d'un traitement au B.t., si les deux arrosages sont effectués en deçà d'une période de sept jours à partir de l'ouverture des quadrats et que le taux de mortalité est suffisamment élevé. Les délais de 11 jours se sont révélés positifs mais moins acceptables, et un taux de mortalité larvaire supérieur aurait peut-être pu donner de meilleurs résultats. On n'a pu obtenir qu'une protection mineure à 16,5 jours malgré un taux de mortalité larvaire raisonnablement élevé. Cela n'a rien d'étonnant, puisque les larves consomment une quantité croissante d'aiguilles au fur et à mesure que la grosseur des larves (stade larvaire) augmente. Ces données ne révèlent pas dans quelle mesure chaque traitement a contribué aux résultats finals. Des essais et un examen supplémentaires sont justifiés, car ils pourraient mener à une approche intégrée pertinente par rapport à l'utilisation de ces deux insecticides.

4.3.5 Traitement au Foray 48B

Un seul quadrat de 800 ha a été traité au produit Foray 48B à raison de 2x15 MUI/ha, soit moins de 0,3 p. 100 de l'ensemble de la superficie traitée. On a échantillonné 50 arbres dans le quadrat. Les moyennes des populations avant arrosage, le taux de mortalité, le taux de défoliation courant et le taux de diminution de la défoliation ont été calculés (Tableau 6). Avec des populations avant arrosage comparables, les résultats obtenus à l'aide du Foray 48B ont été similaires aux résultats obtenus avec le Dipel 64AF (notamment dans le quadrat A-18), et à l'intérieur de

Tableau 8. Résultats du traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t. d'après les délais insérés entre l'ouverture des quadrats à traiter et le deuxième arrosage.

Délai (jours)	n	Larves/ bourgeon avant arrosage $\bar{x}$	NP*	Taux de défoliation $\bar{x}$	NP*	Taux de diminution de défoliation $\bar{x}$	NP*	Taux de mortalité corrigé $\bar{x}$	NP*
5	49	0,268	a	84,8	c	7,0	a	33,4	a
7	30	0,226	a	34,9	a	56,4	c	76,4	c
10,5	10	0,328	a	96,4	d	0,2	a	37,9	a
11	30	0,205	a	65,4	b	21,8	b	61,9	bc
16,5	10	0,281	a	76,4	c	9,0	ab	81,2	c
17	20	0,202	a	78,7	c	10,9	a	51,3	ab

* NP — Les moyennes qualifiées de la même lettre à l'intérieur de chaque colonne n'accusent pas de différence appréciable (Kruskal-Wallis; essai à deux échantillons Wilcoxon, $P < 0,05$).

la plage des résultats observés avec le Futura XLV-HP (p. ex. dans les quadrats A-6 et A-7). Les résultats obtenus avec ce traitement auraient pu être meilleurs si le deuxième arrosage n'avait pas été effectué à l'intérieur de la période de 24 heures (notamment le matin du 12 juin) précédant des conditions climatiques extrêmes.

4.3.6 Évaluation aérienne

Parmi la superficie totale de défoliation modérée et forte repérée dans la province, les 65,4 p. 100 se trouvaient à l'extérieur des zones traitées. De l'ensemble de la superficie traitée, les 31,9 p. 100 accusaient des défoliations modérées et graves. On a constaté des défoliations modérées et graves sur 27 p. 100 de l'ensemble de la zone traitée au fénitrothion, sur 41,9 p. 100 de la superficie totale traitée au B.t. et sur 28,8 p. 100 de la superficie totale soumise à un traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t. (Tableau 9).

Si l'on ne tient compte que de la zone traitée à l'intérieur des secteurs des prévisions modérées à élevée, dans le nord du Nouveau-Brunswick, les 28,9 p. 100 de la superficie traitée au fénitrothion, les 41,9 p. 100 de la superficie traitée au B.t. et les 28,8 p. 100 de la superficie soumise à un traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t. ont révélé des défoliations modérées à graves. Par contre, < 3 p. 100 de la superficie traitée à l'intérieur des secteurs des prévisions variables ont révélé des défoliations modérées à graves. Pendant la période de 15 ans de 1977 à 1991, au cours de laquelle des produits chimiques ont principalement été utilisés, la proportion moyenne de la superficie traitée affichant des défoliations modérées à graves a été de 17 p. 100 (plage de 6 à 38 p. 100).

Tableau 9. Sommaire des zones à défoliation modérée et grave à l'intérieur de la superficie traitée au Nouveau-Brunswick, en 1991.

Traitement	Superficie arrosée (ha)	Superficie défoliée (ha)	% de la superficie traitée défoliée
Fénitrothion	176 705	47 627	27,0
B.t.	92 365	38 725	41,9
Fénitrothion + B.t.	19 080	5 497	28,8
Total	288 150	91 849	31,9

5. PRÉVISIONS D'INFESTATION POUR 1992

Le relevé de masse des oeufs de la tordeuse des bourgeons de l'épinette a été remplacé en 1985 par le relevé L2 comme méthode de prévision des niveaux d'infestation au Nouveau-Brunswick. La proportion des échantillons au sein de chaque catégorie d'infestation utilisée dans les prévisions initiales a varié annuellement de 1981 à 1991 (Tableau 10). Entre 1982 et 1986, on a constaté une tendance à la hausse du pourcentage d'échantillons prélevés dans la catégorie faible, accompagnée d'une tendance à la baisse correspondante dans la catégorie élevée. Entre 1986 et 1987, on a constaté une augmentation triple du pourcentage dans la catégorie élevée, dans le centre nord et le nord-ouest de la province, principalement dans le comté de Restigouche. En 1988 et en 1989, la majeure partie du comté de Restigouche contenait des populations variables (de faibles à modérées). Ces mêmes années, des populations modérées à faibles ont fait leur apparition dans le nord-ouest du comté de Northumberland et dans les régions adjacentes de l'ouest du comté de Gloucester. La tendance à la hausse des pourcentages constatées en 1989 s'est poursuivie en 1991.

Tableau 10. Comparaison des niveaux d'infestation estimatifs de tordeuses des bourgeons de l'épinette, de 1981 à 1991.

		Prévision du niveau d'infestation		
Année/Relevé	n[a]	Faible	Modérée	Élevée
1981/de masse des oeufs	1740	(34 %)	(25 %)	(41%)
1982/de masse des oeufs	1753	(26 %)	(29 %)	(45%)
1983/de masse des oeufs	1316	(48 %)	(20 %)	(32%)
1984/de masse des oeufs	1476	(51 %)	(22 %)	(27%)
1985/L2	1521	(56 %)	(32 %)	(12%)
1986/L2	1586	(77 %)	(20 %)	(3 %)
1987/L2	1572	(76 %)	(15 %)	(9 %)
1988/L2	1204[b]	(73 %)	(19 %)	(8 %)
1989/L2	1349[b]	(82 %)	(13 %)	(5 %)
1990/L2	1198[b]	(84 %)	(11 %)	(5 %)
1991/L2	1079[b]	(87 %)	(10 %)	(3 %)

[a] – Nombre d'emplacements échantillonnés; échantillonnage supplémentaire non compris.
[b] – Nombre inférieur d'échantillons prélevés en raison d'un fléchissement dans la partie sud de la province.

On prévoit pour 1992 0,62 million ha de populations modérées à élevées (Figure 14). Cela correspond à une baisse de 20 p. 100 par rapport à la superficie où l'on prévoyait des populations modérées à élevées l'année dernière (0,77 million ha), et l'infestation totale est de 38 p. 100 moindre (Tableau 11). Les zones comportant des populations variables l'année dernière (0,22 million ha) ont disparu ou sont devenues plus uniformes avec des populations légèrement supérieures cette année.

Des populations modérées à élevées sont prévues pour le nord-ouest du comté de Northumberland et pour les régions adjacentes, dans l'ouest du comté de Gloucester, et aussi dans le compté Restigouche. Outre ces deux secteurs à populations modérées à élevées dans le centre-ouest du Nouveau-Brunswick, et une poche au nord-ouest de Moncton, aucun dégât important n'est prévu dans la majeure partie (90 p. 100) de la province.

Tableau 11. Comparaison des superficies (ha) prévues l'année N (1982-1991) des secteurs qui auront des populations de tordeuse des bourgeons de l'épinette modérées et élevées l'année N+1.

ANNÉE (N)	(N + 1) SUPERFICIE PRÉVUE
1982	5,30 millions ha
1983	4,10 millions ha
1984	3,57 millions ha
1985	3,15 millions ha
1986	1,71 million ha
1987	1,50 million ha
1988[a]	1,65 million ha
1989[a]	1,47 million ha
1990[b]	0,99 million ha
1991	0,62 million ha

[a] Comprend les secteurs à populations variables (faibles à modérées).
[b] Comprend les secteurs à populations variables (faibles à élevées).

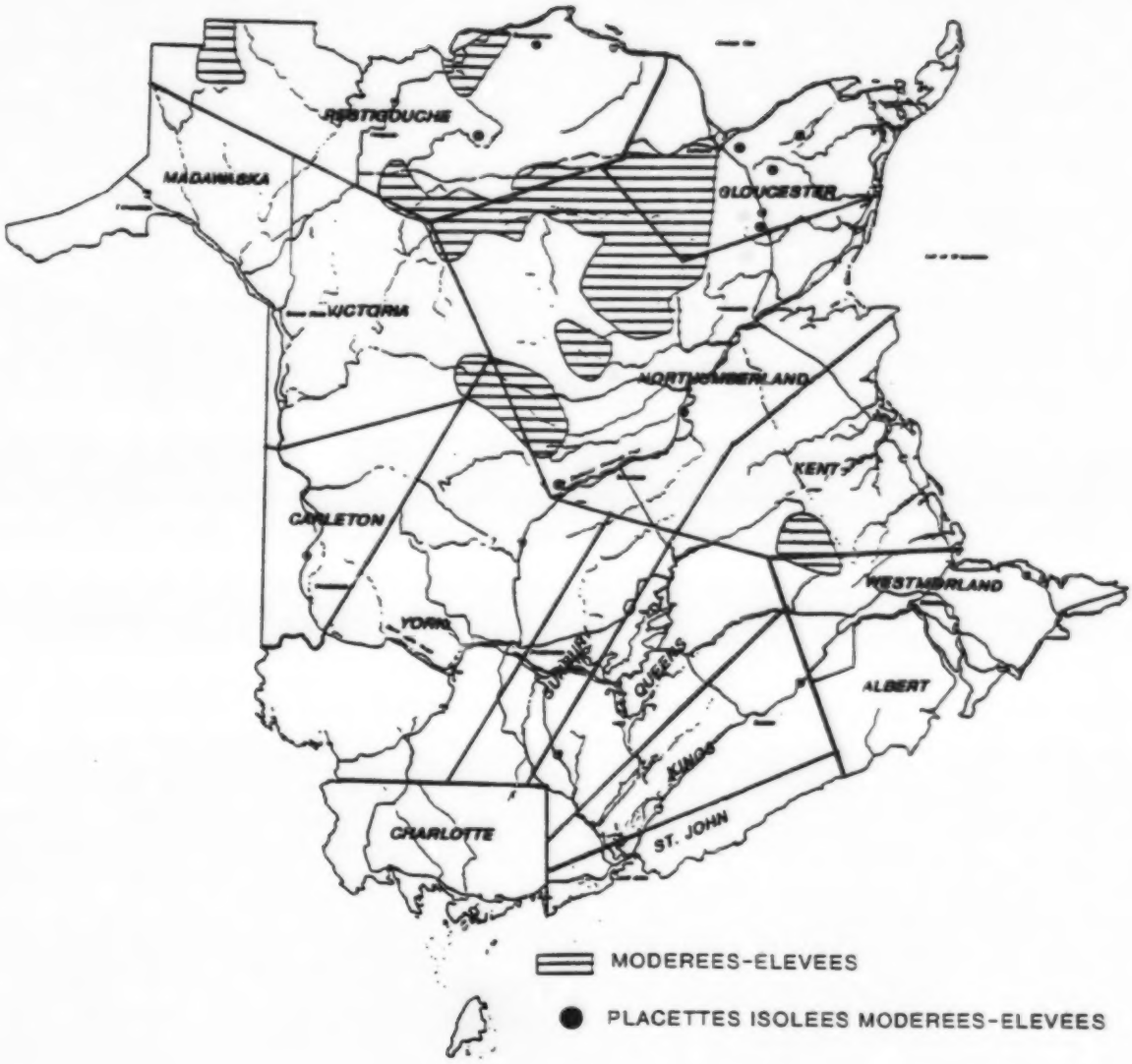


Figure 14. Régions où l'on prévoit des populations de tordeuses des bourgeons de l'épinette modérées à élevées, au Nouveau-Brunswick, en 1992.

6. CONCLUSIONS

6.1 Superficie traitée

Au total, 288 150 ha de forêts infestées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette ont été arrosées par voie aérienne, en 1991, à l'aide d'insecticides chimiques (fénitrothion) et/ou biologiques (B.t.). Les arrosages ont été effectués pendant la période prescrite considérée comme le moment conventionnel pour l'arrosage des larves. Les traitements ont débuté le 30 mai et ont été terminés le 16 juin. Aucune zone n'a été privée du traitement en raison de délais liés aux conditions climatiques. Pour des raisons fonctionnelles, un quadrat de 9 000 ha a reçu un seul arrosage de B.t. à raison de 30 MUI/ha au lieu de la proportion prévue de 2x15 MUI/ha.

6.2 Efficacité du programme

1. Les laps de temps laissés entre les arrosages et les conditions climatiques défavorables après arrosage (périodes humides et froides) ont probablement constitué des circonstances atténuantes qui ont affecté de façon défavorable les résultats obtenus au niveau de la protection du feuillage.

2. Le dépôt d'insecticide et la défoliation survenus avant la fin des deux arrosages n'ont pas été évalués au cours des opérations. Par conséquent les résultats en fait de protection révèlent ce qui s'est produit, mais n'en expliquent pas pleinement les raisons.

3. Dans les secteurs des prévisions M-É, diverses analyses ont révélé que les trois traitements présentaient des avantages; cependant :

   a) les données des traitements au fénitrothion étaient en général les meilleures (taux moyen de défoliation = 35,3 p. 100; taux moyen de diminution de la défoliation = 52,7 p. 100; taux moyen de mortalité larvaire = 63,3 p. 100; proportion d'arbres satisfaisant à l'objectif = 64 p. 100);

   b) les données des traitements au B.t. (à l'exclusion du Futura XLV-HP arrosé à raison de 1x30 MUI/ha, et du Foray 48B, à raison de 2x15 MUI/ha) étaient en général intermédiaires (taux moyen de défoliation = 47,7 p. 100; taux moyen de diminution de la défoliation = 39 p. 100; taux moyen de mortalité larvaire = 55,2 p. 100; proportion d'arbres satisfaisant à l'objectif = 45 p. 100);

   c) les données des traitements séquentiels au fénitrothion plus B.t. étaient en général les moins bonnes (taux moyen de défoliation = 68,2 p. 100; taux moyen de diminution de la défoliation = 21,6 p. 100; taux moyen de mortalité larvaire = 55,3 p. 100; proportion d'arbres satisfaisant à l'objectif = 28 p. 100). Se reporter cependant au point 6.

4. Les données stratifiées sur la base des conditions climatiques «favorables» ou «défavorables» (> 50 mm de précipitations) dans les 48 heures ayant suivi l'arrosage ont révélé que les données obtenues dans des conditions climatiques «favorables» dans le cas du fénitrothion ou du B.t. ont été meilleures que les données obtenues dans des conditions climatiques «défavorables», et que les données relatives au fénitrothion ont été les meilleures de toutes. Les délais entre les arrosages, le mode d'action simple du B.t., et le dépôt en quantité ou en qualité insuffisantes, ont sans doute été les causes de l'efficacité moindre dans les placettes traitées au B.t. dans des conditions climatiques «favorables». Ces facteurs n'ont apparemment pas été aussi préjudiciables pour le fénitrothion arrosé dans des conditions climatiques «favorables».

5. Lorsque les données obtenues dans des conditions climatiques «défavorables» sont supprimées, les données restantes montrent que des résultats acceptables ont été obtenus avec le fénitrothion ou le B.t. arrosé entre le troisième et le cinquième stade larvaire, avec un taux de mortalité larvaire ≥ 50 p. 100 dans le cas des populations faibles et modérées et ≥ 75 p. 100 dans le cas des populations élevées et extrêmes. Des exceptions sont probablement survenues en raison d'effets sous-optimaux (p. ex. dépôt inadéquat, conditions climatiques «défavorables») liés à l'un des arrosages ou aux deux. La probabilité de succès est supérieure avec le fénitrothion, car le taux de mortalité larvaire ≥ 50 p. 100 ou ≥ 75 p. 100 s'est présenté plus fréquemment avec celui-ci qu'avec le B.t.

6. Dans le cas des traitements séquentiels, les conditions climatiques «défavorables» après le premier arrosage (fénitrothion), les retards ayant précédé le deuxième arrosage (B.t.), et/ou un dépôt inadéquat (quantité ou qualité inconnues pour chaque insecticide) ont entravé le succès global de ce traitement. Néanmoins, les données stratifiées ont révélé des résultats acceptables pour les traitements séquentiels appliqués dans les sept jours de l'ouverture des quadrats, et des résultats positifs, en deçà de 11 jours. D'autres essais avec ce scénario d'arrosage sont justifiés, car ils pourraient mener à une approche intégrée acceptable par rapport à l'utilisation des insecticides chimiques et biologiques.

7. Malgré la zone de traitement limitée et un échantillonnage restreint, les analyses laissent supposer que les résultats obtenus avec le Foray 48B ont été similaires aux résultats obtenus avec le Futura XLV-HP et le Dipel 64AF.

8. Le relevé aérien de la défoliation a permis de détecter 35 000 ha de défoliation légère, 132 000 ha de défoliation modérée et 134 000 ha de défoliation grave. Environ 65,4 p. 100 des défoliations modérées et graves ont été enregistrées à l'extérieur des zones traitées.

9. À l'intérieur des secteurs visés par les prévisions de populations modérées à élevées pour 1991, 28,9 p. 100 de la superficie traitée au fénitrothion, 41,9 p. 100 de la superficie traitée au B.t. et 28,8 p. 100 de la superficie soumise à un traitement séquentiel au fénitrothion plus B.t., ont accusé des défoliations modérées et graves.

6.3 Prévisions

1. D'après le relevé L2, le secteur où l'on prévoit des populations de tordeuses des bourgeons modérées à élevées en 1992 aurait une superficie de 0,62 million ha. Cela équivaut à une réduction de 38 p. 100 par rapport aux prévisions de l'année dernière. La région visée par les prévisions occupe environ 8,5 p. 100 de la superficie totale de la province.

2. Les zones qui seront touchées se trouvent principalement dans le nord du Nouveau-Brunswick, notamment dans les comtés de Restigouche, de Gloucester et de Northumberland.

3. À l'exception d'une zone isolée au nord-ouest de Moncton, aucun dégât important n'est prévu dans le sud de la province, en 1992, la faible tendance des années passées se maintenant.

RÉFÉRENCES

Abbott, W. S. 1925. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. J. Econ. Ent. 18, 265-267.

Carter, N. E. 1988. Programme de pulvérisations aériennes contre la tordeuse du bourgeon de l'épinette au Nouveau-Brunswick 1988. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie, C.P. 6000, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Carter, N. E. 1990. Programme de pulvérisation aériennes contre la tordeuse du bourgeon de l'épinette au Nouveau-Brunswick 1989. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie, C.P. 6000, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Carter, N. E. et Lavigne, D. 1991. Programme de pulvérisation aériennes contre la tordeuse du bourgeon de l'épinette au Nouveau-Brunswick 1990. Ministère des Ressources naturelles et de l'Énergie, C.P. 6000, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Daniel, W. W. 1990. Applied Non-parametric Statistics. 2e éd., PWS-Kent Publishing Co., Boston, Massachusetts.

Davies, D. 1991. Rapport du programme de 1991 de la Forest Protection Limited. FPL, comp. 5, empl. 24, R.R. 1, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

Dickison, R. B. 1991. Evaluation of operational 1991 spruce budworm spray program efficacy — Weather monitoring and forecasting; II. Ground-level monitoring. Rapport destiné à la Forest Protection Limited. FPL, comp. 5, empl. 24, R.R. 1, Fredericton (Nouveau-Brunswick).

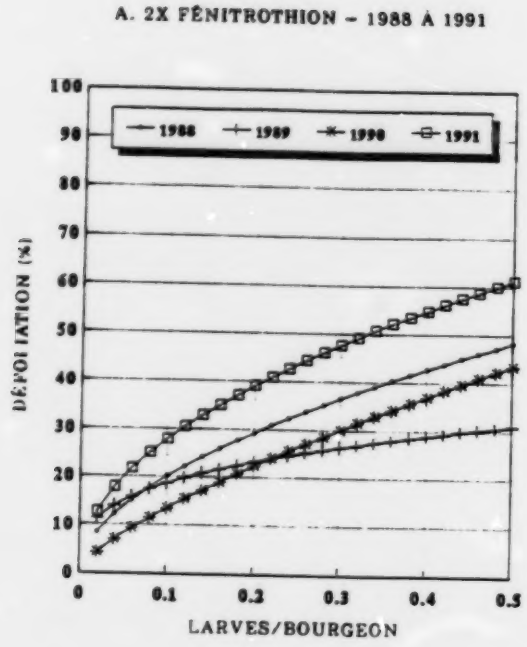
Dorais, L. et Kettela, E. G. 1982. A review of entomological survey and assessment techniques used in regional spruce budworm, Choristoneura fumiferana (Clem.), surveys and in the assessment of operational spray programs. Rapport du comité de normalisation des techniques d'étude et d'évaluation, Conseil de l'Est sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Fettes, J. J. 1950. Investigations of sampling techniques for population studies of the spruce budworm on balsam fir in Ontario. Forest Insect Lab, Sault-Sainte-Marie, Ontario. Rapport technique annuel.

Kettela, E. G. 1983. Situation des infestations de tordeuses des bourgeons de l'épinette au Nouveau-Brunswick en 1983 et prévisions pour 1984. Environnement Canada, Forêts Canada, CRFM, Note technique 100.

Koller, C. N. et Leonard, D. E. 1981. Comparison of energy budgets for spruce budworm, Choristoneura fumiferana (Clem.), on balsam fir and white spruce. Oecologia 49, 14-20.

ANNEXES



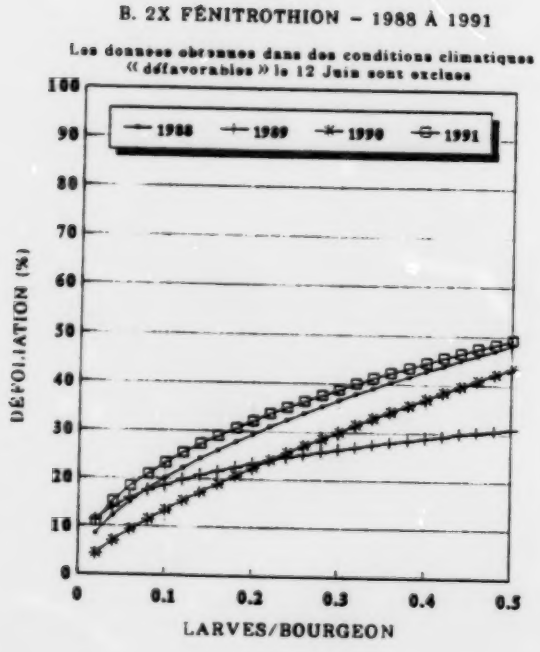


Figure A1. Comparaison des résultats obtenus avec le fénitrothion en 1991 avec (A) et sans (B) les données obtenues dans des conditions climatiques «défavorables», et des résultats de 1988, 1989 et 1990.

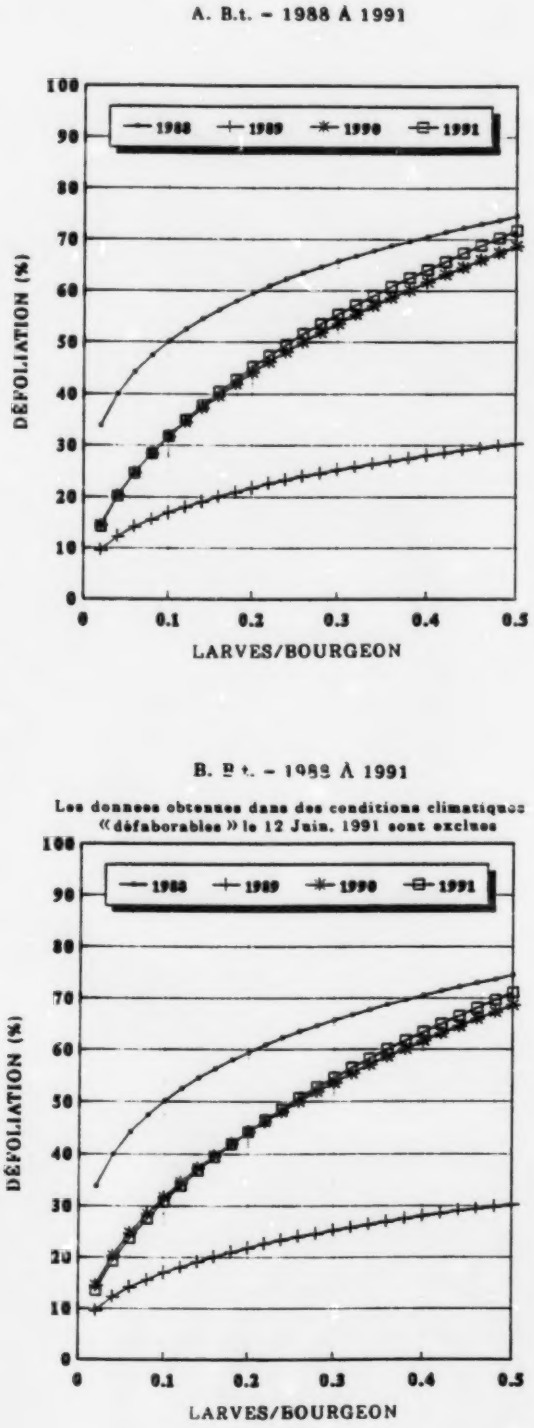


Figure A2. Comparaison des résultats obtenus avec le B.t. en 1991 avec (A) et sans (B) les données obtenues dans des conditions climatiques «défavorables», et des résultats de 1988, 1989 et 1990.